tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 42 - nr. 1/2 - 1977

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, Leidschendam. Gironummer 94746 t.n.v.
Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Bestuur

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl. 45,--.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 45,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

Redactiecommissie

DE EXAMENS

De examens door het Genootschap ingesteld en afgenomen zijn:

a. op lager technisch niveau:"Elektronica monteur NERG"
b. op middelbaar technisch niveau: Middelbaar Elektronica Technicus NERG"

Brochures waarin de exameneisen en het examenreglement zijn opgenomen kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij de Administratie van de Examencommissie.

Voor deelname en inlichtingen wende men zich tot de Administratie van de Examencommissie NERG, Genemuidenstraat 279, den Haag, gironummer 6322 te den Haag.

Examencommissie

NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE TECHNIEK VAN DE RADIOSTERRENKUNDE EN
HUN TOEPASSING IN DE SYNTHESE RADIO TELESKOOP BIJ WESTERBORK.

Lezingen gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section-IEEE.

GRONDBEGINSELEN VAN DE WAARNEEMTECHNIEK MET DE W.S.R.T.

Ir. H.C. Kahlmann

Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg

De astronomische wens om het oplossend vermogen van radioteleskopen te verbeteren heeft geleid tot het gebruik maken van de methode van de interferometrie, welke voor radioastronomische doeleinden is uitgegroeid tot de apertuur synthese, een methode die in de Westerbork Synthese Radio Teleskoop gerealiseerd is.

1. HET PRINCIPE VAN DE RADIOTELESKOOP.

Astronomen willen elektromagnetische straling uit het heelal opvangen en bestuderen. Omdat de elektromagnetische straling die wij licht noemen een veel kleinere golflengte heeft dan die welke wij radiostraling noemen, en omdat wij niet beschikken over een zintuig dat radiostraling direkt kan waarnemen, is er groot onderscheid in de waarneem-instrumentatie van de optische- en de radioastronoom. De fundamentele waarneming bestaat uit het meten van de uit het heelal afkomstige energie stroomdichtheid als funktie van richting en golflengte. M.a.w. de radioastronoom maakt een "kaart" van de helderheidsverdeling aan de hemelbol op een bepaalde golflengte.

Het instrument van de radioastronoom is de radioteleskoop, die we definiëren als de kombinatie van een antenne, die de elektromagnetische straling opvangt en eventueel in een brandpunt koncentreert en omzet in een elektrisch stroompje, met een ontvanger, die de signalen versterkt tot een niveau waarop zij goed meetbaar zijn en bijvoorbeeld op een schrijver of magneetband geregistreerd kunnen worden.

De ontvangen straling vertoont een grote variatie in verschijningsvorm:

a) de continue (breedbandige) straling van ons eigen Melkwegstelsel overdekt de gehele hemel;
b) de straling van de 21 cm spektraallijn van neutrale waterstof is ook in vrijwel iedere richting waar te nemen;
c) de straling van diskrete bronnen in onze Melkweg, zoals supernova-resten en geïoniseerde waterstofgebieden, welke hoekafmetingen hebben van enige boogminuten tot enkele graden;
d) de straling van objekten buiten de Melkweg, zoals andere melkwegstelsels en quasi-stellaire bronnen, welke in het algemeen klein zijn (enige boogminuten tot "puntvormig") en zwak is. Deze, en tevens de onder c) genoemde objekten, stralen over een continue spektrum.

De stralingssterkte van de bronnen onder c) en d) wordt dus gemeten t.o.v. de achtergrondstraling van de Melkweg. Waarneemtechnieken moeten gericht zijn op het specifieke aspekt van de straling, waarin de astronoom belang stelt.

2. HET SCHEIDEND VERMOGEN VAN EEN RADIOTELESKOOP.

Vanwege het golfkarakter van de elektromagnetische straling in samenhang met de eindige afmetingen van iedere teleskoop antenne is aan het vermogen om met een gegeven teleskoop details in een waargenomen hemelveld te onderscheiden een fundamentele grens gesteld. Dit vermogen details te onderscheiden is beperkt en evenredig met de diameter van de teleskoop antenne uitgedrukt in golflengten. De halfwaarde breedte (tot -3dB niveau) van de bundel wordt gegeven door

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \text{ radialen}$$

waarin λ de golflengte en D de diameter van de antenne is. Voor een radioteleskoop zoals die in Dwingeloo komt dit bij λ = 21 cm op $\theta \sim 0.6^{\circ}$ m.a.w. in de orde van de zonsmiddellijn.

Door het in § 1 al genoemde enorme verschil in golflengte van radiospektrum t.o.v. het optische spektrum nl. centimeter resp. mikrons ontstaat bij enkelvoudige instrumenten van redelijk realiseerbare grootte een haast onoverbrugbaar verschil in scheidend vermogen. Omdat de informatie uit beide delen van het elektromagnetisch spektrum voor de astronomie komplementair is, werd de ontwikkeling van de instrumentele radioastronomie vanaf het begin beheerst door het zoeken naar een beter scheidend vermogen. Een nauwere antenne bundel geeft tevens de mogelijkheid om de positie van een objekt met grotere precisie vast te stellen. Ook het verkrijgen van grotere gevoeligheid, om zwakkere en dus verder verwijderde bronnen te kunnen detekteren is een voortdurend punt van onderzoek geweest. Beide wensen kunnen vervuld worden door een grotere teleskoop antenne. Het bouwen van teleskoop antennes veel groter dan een 100 m spiegel, zoals die nabij Bonn, gaat de konstruktie mogelijkheden te boven.

Men is er in geslaagd toch strukturen te herkennen en bronposities te bepalen op en schaal equivalent aan de optische nauwkeurigheid door gebruik te maken van de destijds in de optika ontwikkelde methode ter verbetering van het scheidend vermogen, de interferometrie.

3. DE INTERFEROMETER.

Een interferometer wordt gevormd met twee antennes. Wanneer we twee antennes op een afstand B, die we de basislijn zullen noemen, van elkaar opstellen en de uitgangssignalen van beide antennes samenvoegen, hebben we een interferometer gemaakt.

Als beide antennes op het te bestuderen projekt, de bron, gericht zijn zal de samenvoeging van de signalen uit beide antennes interferentie ten gevolge hebben. Is de samenvoeging van beide signalen te omschrijven als een vermenigvuldiging dan ontstaat een interferentiepatroon in de vorm van een komplexe korrelatie funktie. Deze komplexe korrelatie funktie, ook wel de zichtbaarheidsfunktie Z genoemd, is afhankelijk van de onderlinge afstand B van beide antennes en van de richting van de projektie van deze lijn B op de bron. De tweede en derde bijdrage uit deze reeks (O'Sullivan en Bos) gaan uitvoerig in op het bepalen van deze komplexe korrelatie funktie.

Hoe is nu helderheidsverdeling te verkrijgen uit de gemeten zichtbaarheidsfunktie? De stelling van Van Cittert-Zernike, opgesteld in de dertiger jaren leert ons dat helderheidsverdeling en zichtbaarheidsfunktie gekoppeld zijn door de fourier transformatie.

Een interferometer met basislijn B gedraagt zich als een selektief filter dat slecht de ruimtelijke frekwentie $\frac{B}{\lambda}$ in de straling van de bron doorlaat. Het opmeten van de zichtbaarheidsfunktie Z tot een zekere maksimale basislijn B_{max} geeft de mogelijkheid de helderheidsverdeling te rekonstrueren met een detail dat overeenkomt met deze grootste toegepaste basislijn B_{max}.

Het is dus niet meer de diameter D van de antenne maar de basislijn B van de interferometer die het scheidens vermogen bepaald.

De tweedimensionale fourier transformatie om de "rekonstruktie" van zichtbaarheidsfunktie naar helderheidsverdeling te bewerkstelligen is het onderwerp van de vijfde bijdrage (Hamaker).

4. APERTUUR SYNTHESE.

Maken we van een interferometer de ene antenne verplaatsbaar t.o.v. de andere dan kan men voor een aantal bronnen nl. diegenen waarvan de intensiteit konstant is, achtereenvolgens voor verschillende waarden van de basislijn B de zichtbaarheidsfunktie Z bepalen. Het overgrote deel van de thans bekende bronnen voldoet aan de bovengestelde voorwaarden van konstante intensiteitsverdelings gedurende een waarneemperiode. De grootste afstand tussen twee antennes, dus de grootste basislijn, bepaald de apertuur die op deze wijze "gesynthetiseerd" wordt.

Door meer dan twee antennes te gebruiken dus door meerdere interferometers te maken die simultaan kunnen waarnemen kan de zichtbaarheidsfunktie op meerdere punten simultaan bemonsterd worden, waardoor we een overeenkomstige faktor in tijd winnen.

De synthese methode deed een enorme stap voorwaarts, toen met besefte dat met een 1-dim. antenne opstelling (de elementen staan i.h.a. op een Oost-West lijn) toch 2-dim. synthese, dus groot scheidend vermogen in beide koördinaat richtingen te verkrijgen is. De interferometer elementen volgen het objekt gedurende 12 uur in zijn dagelijkse gang langs de hemel. Zo worden met meerdere antennes meerdere basislijn lengten simultaan gemeten en verschillende basislijn oriëntaties na elkaar. In 12 uur draait de projektie van de basislijn op de bron over 180° en is de zichtbaarheidsfunktie Z volledig bemonsterd.

De apertuur synthesis levert ons niet alleen een groot scheidend vermogen, maar ook door de noodzakelijkerwijs zeer lange waarneemtijd de gevoeligheid van een teleskoop met veel grotere antenne diameter dan die van de elementen afzonderlijk.

5. DE WESTERBORK SYNTHESE RADIO TELESKOOP.

Bij de WSRT zijn de antennes die de elementen van de interferometer vormen opgebouwd uit parabolische reflektoren van 25 m diameter op een equatoriale onderbouw. Dit wil zeggen dat één as, de poolas, evenwijdig staat aan de aard rotatie as, terwijl de andere, de deklinatie as, daar loodrecht op staat. Deze wijze van opstellen vereenvoudigt het volgen van bronnen gedurende hun dagelijkse gang aan de hemel. Tien vaste antennes staan op onderlinge afstanden van 144 meter, vier verrijdbare antennes staan op een 300 m lange railbaan, zodanig dat uiteindelijk alle basislijn afstanden B tussen 36 en 1602 meter gerealiseerd kunnen worden.

De interferometers worden gevormd door één vaste en één verrijdbare antenne samen te beschouwen. Er kunnen dus 40 interferometers gemaakt worden.

In het brandpunt van de reflektor is het "frontend" geplaatst. Dit is een dubbel gethermostreerde doos die de ontvang antenne, de parametrische voorversterkers, mixers en eindversterkers bevat.

De signalen worden via ca. 950 meter lange kabels naar het centrale gebouw gevoerd waar verdere versterking, kompensatie van weglengte verschil in de twee armen van een interferometer en vermenigvuldiging in de korrelator worden uitgevoerd. Het lokale oscillatorsignaal voor de mixers in het frontend wordt verkregen uit een oscillator in het centrale gebouw via een ca. 950 meter lange kabel.

De radiosterrenwacht beschikt over een serie frontends voor de 21 cm waarneemband en een serie kombinatie frontends voor de 6 cm en 49 cm golflengte.

De brandpunten van de parabolische antennes liggen binnen enkele mm op een rechte Oost-West lijn.

De W.S.R.T. wordt beheerd door de S.R.Z.M. met financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.).

DIGITAL CORRELATION

Dr. J.D. O'Sullivan
Netherlands Foundation for Radio Astronomy

1. INTRODUCTION.

The choice facing engineers in many fields today is that between digital and analogue implementations of desired functions. This is particularly the case in building receiver systems for radiotelescopes such as that for the Westerbork antenna array.

The first application of a digital correlator system in radio astronomy occured in 1963 when a one bit digital autocorrelator was used to measure the spectrum of the radiation collected by a single antenna (Weinreb - 1963). The use of a correlator with hard limiting to measure correlation functions had already been suggested by a number of authors and the basic theory had been considered by Van Vleck (1943).

The digital autocorrelator gave the radio astronomer a spectrum free of many of the inaccuracies inherent in the older analogue filter receiver. In addition, the flexibility and cost aspects of spectral analysis were considerably improved. In spite of the limitation in bandwidth analyzed, the technique became popular.

It became apparent that the digital correlator would also be a useful method for obtaining spectral information for the more complicated multi-antenna arrays. Modest sized digital correlator systems were constructed, for example, for the Penticton telescope (Bowers et al - 1973). The 5120 channel digital cross correlator, nearing completion in Westerbork will become the largest operational system in the world. It will provide a very significant increase in the information gathering capacity of the Westerbork array.

2. REQUIREMENTS OF A CORRELATION SYSTEM.

The Westerbork array of 4 movable and 10 fixed antennas requires at least 40 simultaneous correlations of the signal from a movable antenna with that from a fixed antenna. Each antenna receives two polarization states and determination of the complete polarization state of the incoming noise signals requires correlations between all antenna polarization combinations. The requirements are accordingly 160 correlation channels per frequency point in the desired spectrum.

The correlation process must allow determination of both the phase and the amplitude of the correlated component in each input. That is, an inphase and a quadrature correlation are necessary to reconstruct the distribution of radiation from the sky. The response of the telescope to a given distribution can be known only to the extent that the phase and the gain of each correlator are known. Accurate knowledge of the sidelobe structure of the telescope beamshape allows valuable information to be obtained from regions nearby sources of radiation on the sky.

At the other extreme, the requirements call for the utmost in sensitivity to allow detection of very weak sources of radiation. The simplified receiver system, shown in Fig. 1, shows the steps commonly taken to achieve maximum sensitivity in a practical system.

Of great importance is a stage of high sensitivity amplification which should be situated as close as practicable to the antenna to reduce the instrumental contributions to the noise figure. The signal is generally mixed to a low frequency to simplify further signal processing.

Following mixing, it is necessary to compensate for the path difference to a particular region of the sky. The telescope is both mechanically and electrically pointed to follow as the Earth rotates. In particular, the delay compensation must be accurate to a small fraction of the inverse of the bandwidth received. Since the sensitivity is proportional to $(BT)^{-\frac{1}{2}}$ where the bandwidth is B and the integration time is T (e.g. Christiansen - 1969), it is desirable to use the largest bandwidth possible. Previously, it has been common practice to use switched lengths of coaxial cable to achieve the delay compensation. This is an expensive solution. Other solutions have not yet proved satisfactory. For example, Surface Acoustic Wave (SAW) devices and Charged Coupled Devices (CCD) suffer from internal reflections and clock feedthrough respectively. Both techniques, however, show promise for the near future.

Finally, the inphase and quadrature correlations must be obtained. This may be followed by integration for a period of 30 secs in the case of Westerbork (Casse and Muller - 1974) so that the volume of data to be stored can be minimized. After a 4 day observation with 10 MHz bandwidth, a source giving rise to a power contribution of only 10^{-7} of the total input power to the correlator, may be detected. The correlator must determine the average product of noise quantities and must perform this product with very small DC offset. It should contribute very little excess noise beyond that which an ideal correlator would give.

The large number of correlators required in large receiver systems makes it very difficult to simultaneously

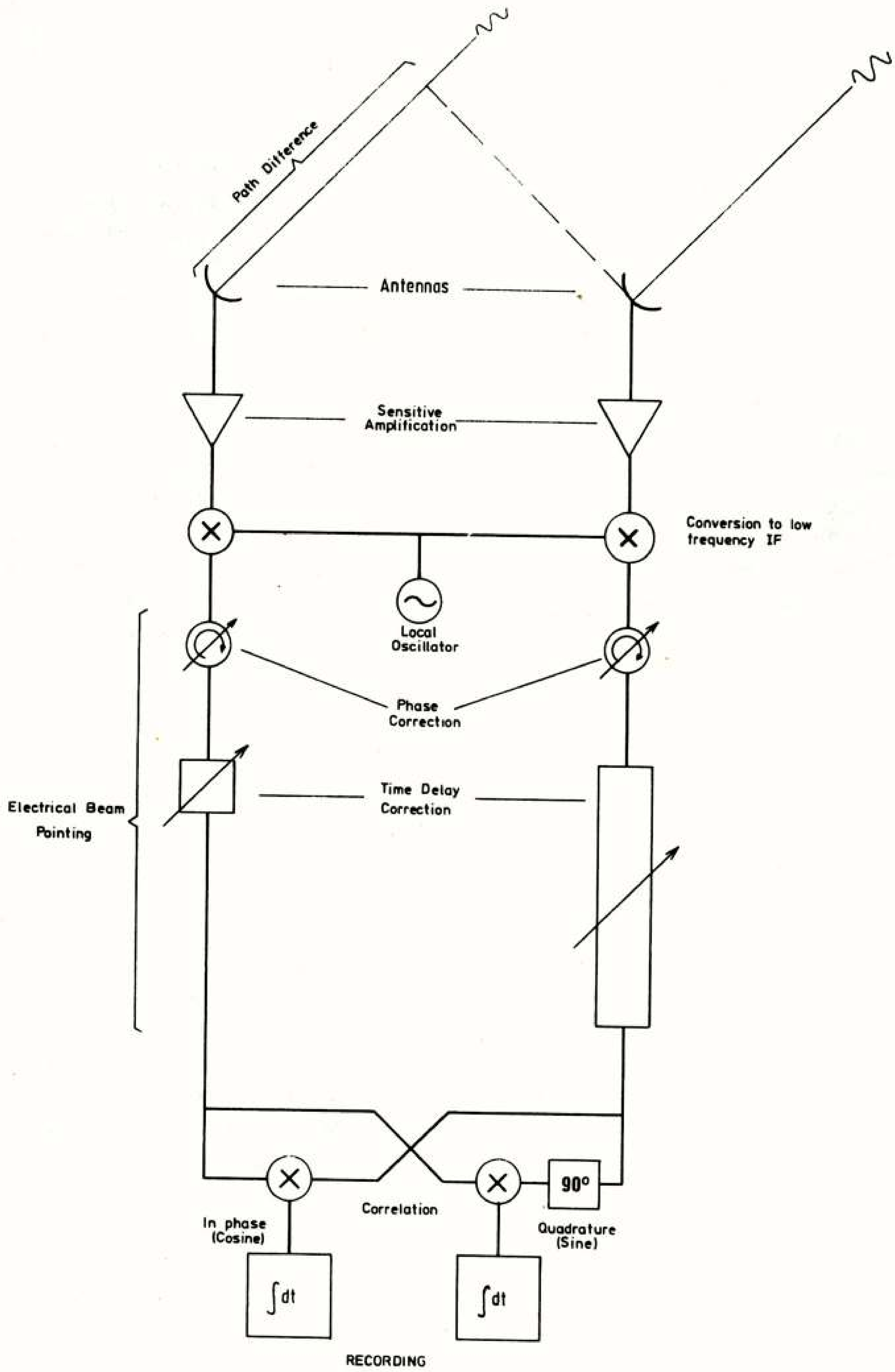


Fig. 1 A correlation receiver system showing the major elements of a practical system.

achieve all these objectives with analogue techniques. Typically, problems are encountered with DC offsets, crosstalk between different inputs, linearity and stability. Digital correlation techniques should allow many of these problems to be circumvented or minimized.

3. EXTENSION TO SPECTRAL DETERMINATION.

The need for spectral information in the maps of sky brightness has provided the strongest incentive for the use of digital correlation techniques. A straightforward approach would be to provide a set of filters in each input and correlate the outputs of identical filters to provide the separation into spectral information. Unfortunately this technique requires large numbers of separate filters each with stability and accuracy problems. The ability to easily change total analyzed bandwidth and frequency resolution can be provided only with difficulty, in completely analogue realisations. Possible alternatives may come from the techniques of digital filtering (Rader and Gold - 1967). One distinct advantage arises from the fact that all correlations are performed on narrow bandwidth signals and no such limitation on total bandwidth exists.

For modest bandwidths the problem can be solved by measuring entirely in the time domain. The correlation function of entire signal band may be measured as a function of time delay. That is, the correlation function $R(\tau)$ between two signals $e_1(t)$, $e_2(t)$ may be defined as follows

$$R(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T e_1(t)\, e_2(t-\tau)\, dt$$

For different inputs e_1, e_2, measurements of both positive and negative delays τ are required to completely specify the cross correlation between components of the input as a function of frequency. The desired quantity, the cross spectrum $S(\nu)$, is given as a complex quantity (in phase and quadrature) by

$$S(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-j2\pi\nu\tau)\, d\tau$$

This is the well known Wiener-Kinchine Fourier transform relation between power or cross-spectrum and auto or cross-correlation function (Blackman and Tukey - 1959).

In practice, both a limited range of delay τ and limited set of samples τ_i are available. The finite range of delays directly determines the frequency resolution or bandwidth of the effective filter used to measure $S(\nu)$. The resolution width is given approximately by

$$\Delta\nu \doteq \frac{1}{2\tau_m}$$

where the range of τ is $\pm\tau_m$.

Another aspect is the effect of finite sample spacing τ_0. Sampling in the time domain causes the resultant spectrum to be periodic with period $1/\tau_0$. The effect, as illustrated in Fig. 2, is to fold or "alias" the spectrum about a frequency $1/2\tau_0$. That is, for a video band, a frequency component at $f > 1/2\tau_0$, is indistinguishable from a component at $1/2\tau_0-f$. The only solution to this fundamental problem is to limit the input with analogue filtering to a band $1/2\tau_0$. When just sufficiently fast to avoid confusion, the sampling rate is referred to as the Nyquist rate.

Fig. 2 illustrates the imperfections caused by sampling the autocorrelation function of a video bandpass. The aliasing causes power from beyond the folding frequency to be folded into the band of interest. The limited resolution is equivalent to a finite effective filter width and causes a narrow spectral line to be broadened to a characteristic width.

It may be observed that, to separate a band into N spectral points, N positive and N negative delay samples are required. This compares with a filter spectrometer where N inphase and N quadrature correlators are required. The correlation spectrometer is composed of a number of identical correlators but each correlator must operate at the full bandwidth. The filter spectrometer requires many separate filters but only bands equal to the resolution required need be correlated.

4. DIGITAL IMPLEMENTATION OF THE CORRELATION SPECTROMETER.

A digital system must operate by sampling the analogue input signals at fixed intervals and converting the analogue into a number of bits of digital information. The resulting implementation of a digital cross correlation spectrometer becomes attractively simple. A possible system is shown in Fig. 3.

Before any sampling is performed, the analogue input must be filtered to the desired band. The sampling rate can then conveniently be chosen to equal the desired delay increment (although there are some sensitivity benefits from oversampling as will be seen later). At each sampling instant the analogue information is converted into a digitized and quantized signal.

Practical systems have used two digital levels (one bit, sometimes referred to as polarity coincidence correlation), three levels (incomplete two bit), four levels (full two bit) and even five levels. One bit analogue to digital conversion involves a single decision level. The signal is given one digital value (0) if it is negative and another (1) if it is positive. Three level digitization requires two decision levels and four level requires three decision levels.

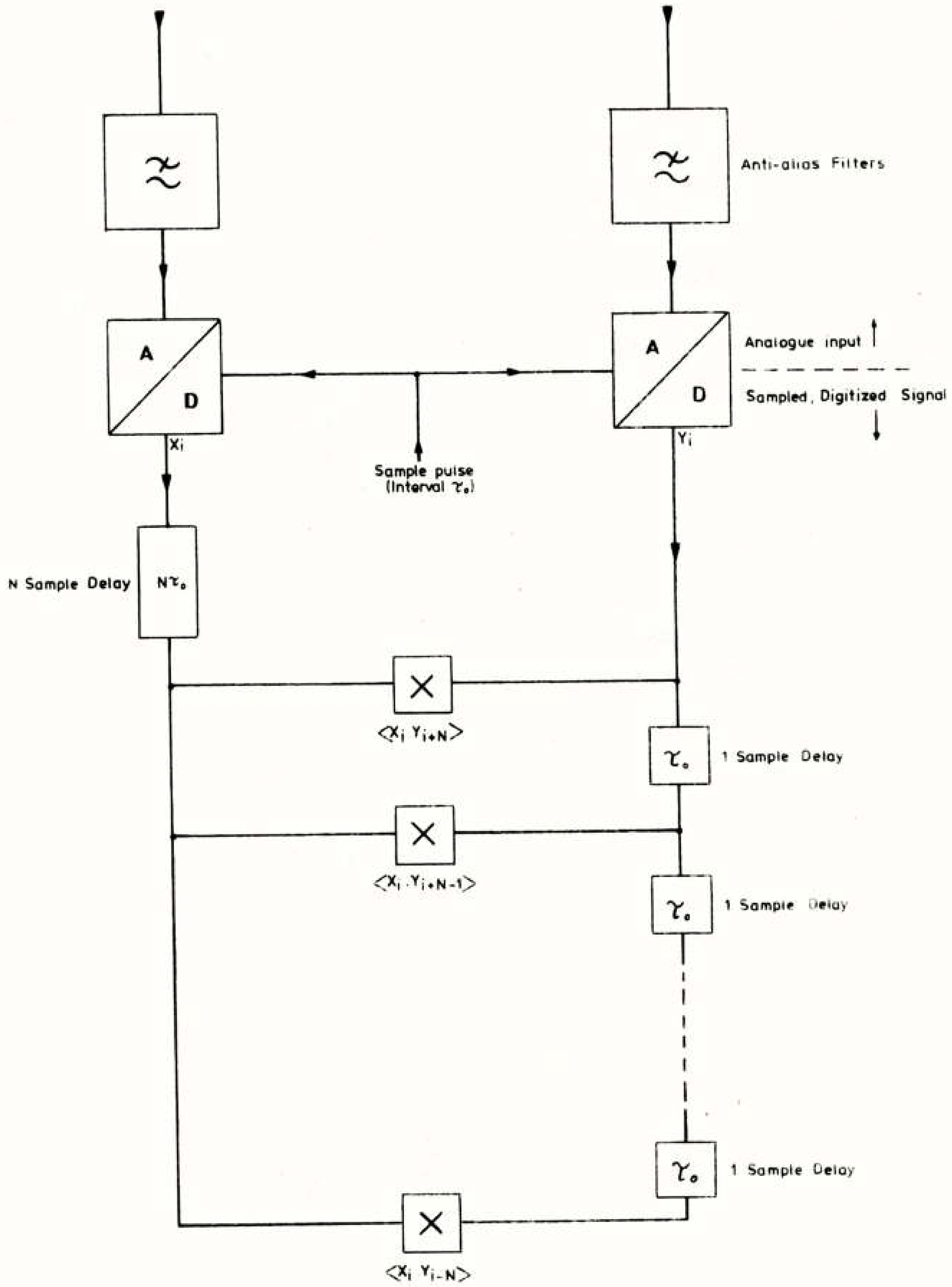


FIG. 3 A possible digital implementation of a time domain spectrometer.

Clearly such coarse digitization has some influence on the spectrum of the noise. It may be expected that some distortion of the spectrum will result. Also additional noise, which may be referred to as digitization or quantizing noise, will result.

An important advantage of the digital approach, is the ease of producing accurately determined delay steps. A single shift register stage provides an accurate delay equal to the sample time interval. The delay steps of a range of positive and negative delays are provided with digital shift registers as shown in Fig. 3. It is useful to remember here the expense of providing the path length difference compensation mentioned earlier. This delay could also be provided largely by suitable additional shift register stages after the analogue to digital conversion.

The digital correlation is a simple task when one bit digitizing has been used. With some reservations, it is possible to use various multiplication schemes. For example, the Exclusive-NOR operation is equivalent to direct multiplication, if the one bit digitized signal is assigned values -1, +1. This is illustrated in Fig. 4. Other possibilities include simple AND or OR operations, for example. The integration in this case is simply provided by a digital counter which is incremented for one digital correlator output state while the other state causes no change.

Extension to three level, or more, considerably complicates the digital multiplier. Again, various possibilities exist. The digital levels may be assigned levels (-1, 0, 1) or (0, 1, 2). The digital products then involve negative quantities in the first case and either requires two counters (an UP counter and a DOWN counter), an UP/DOWN counter, or a counter operating at a maximum of twice the sample rate. In the asymmetric weightings would on the other hand give rise to a maximum count rate of 2 x 2 = 4. The multiplier and integrator complexity is at least doubled, if operating speed is considered as equivalent to complexity.

A four level correlator would involve more complexity and in the most straight forward realisation, where weights of (0, 1, 2, 3) are assumed, maximum count rates of 3 x 3 = 9 would be necessary. Even though the result can be obtained indirectly as described in an accompanying paper (Bos - 1976), the scheme is considerably more complicated than the simple one bit multiplier. It is not practicable to use sufficient quantization accuracy to ignore all quantization effects.

5. PROPERTIES OF A DIGITAL CORRELATOR.

Most digital signal processing systems require sufficient digital bits in the quantizing and processing stages to enable all digitizing effects to be ignored. The digital correlation spectrometer becomes impractical unless very few levels of digitizing are used. The precise effects of the digitizing must therefore be carefully aanalysed. The basic features of the analysis were performed by Van Vleck in 1943 in connection with interference to radar receivers (Van Vleck - 1943). This was considerably before digitial tecnology was sufficiently advanced to apply digital correlation techniques.

The most important aspect in the use of a digital correlator, is the characteristics of the noise. The radiation from objects of astronomical interest is comprised of many independent contributions. The resulting Gaussian random noise has well known statistical properties. Of interest is the joint probability distribution between the signals (Lee - 1960). Two signals x (t), y (t) have a probability of simultaneously lying within in the range x to x + dx and y to y + dy, given by,

$$P(x, y)\, dxdy \propto \exp\{-x^2 + y^2 + 2Rxy\}$$

where only the dependence on x, y is shown for clarity. Scaling factors dependent on the correlation R have been ignored. This standard relation for Gaussian noise quantities simply describes contours of equal probability which are ellipses. Extreme cases of R = +1, -1 give rise to straight lines x = y and x = -y respectively. A value R = 0 gives use to circular contours and x and y are completely independent.

It is therefore possible to calculate the response of an arbitrary non-linear product M (x, y) by simply integrating over all possible combinations of x, y. That is, the average digital product ρ is given by,

$$\rho = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} dxdy\; P(x, y)\; M(x, y)$$

This integration can be performed for the various possible digital correlators. An analytic solution is possible only for the 2 level digital correlator with decision levels at zero. In this case, with a pure product and weightings of (-1, 1) assigned to the clipped signals, the response is given by

$$\rho_{22} = \frac{2}{\pi} \arcsin (R)$$

Response curves are shown plotted in Fig. 5 for various types of digital correlator. In all cases the region of low correlation, (even the strongest signals of practical interest tend to be below R = 0.5) is linear. In any case, the measured correlation may be directly converted to true correlation with the use of a non-linear correction function. This correction is generally referred to as a Van Vleck correction.

It was earlier remarked that both spectrum distortion and excess quantizing noise may be expected as a

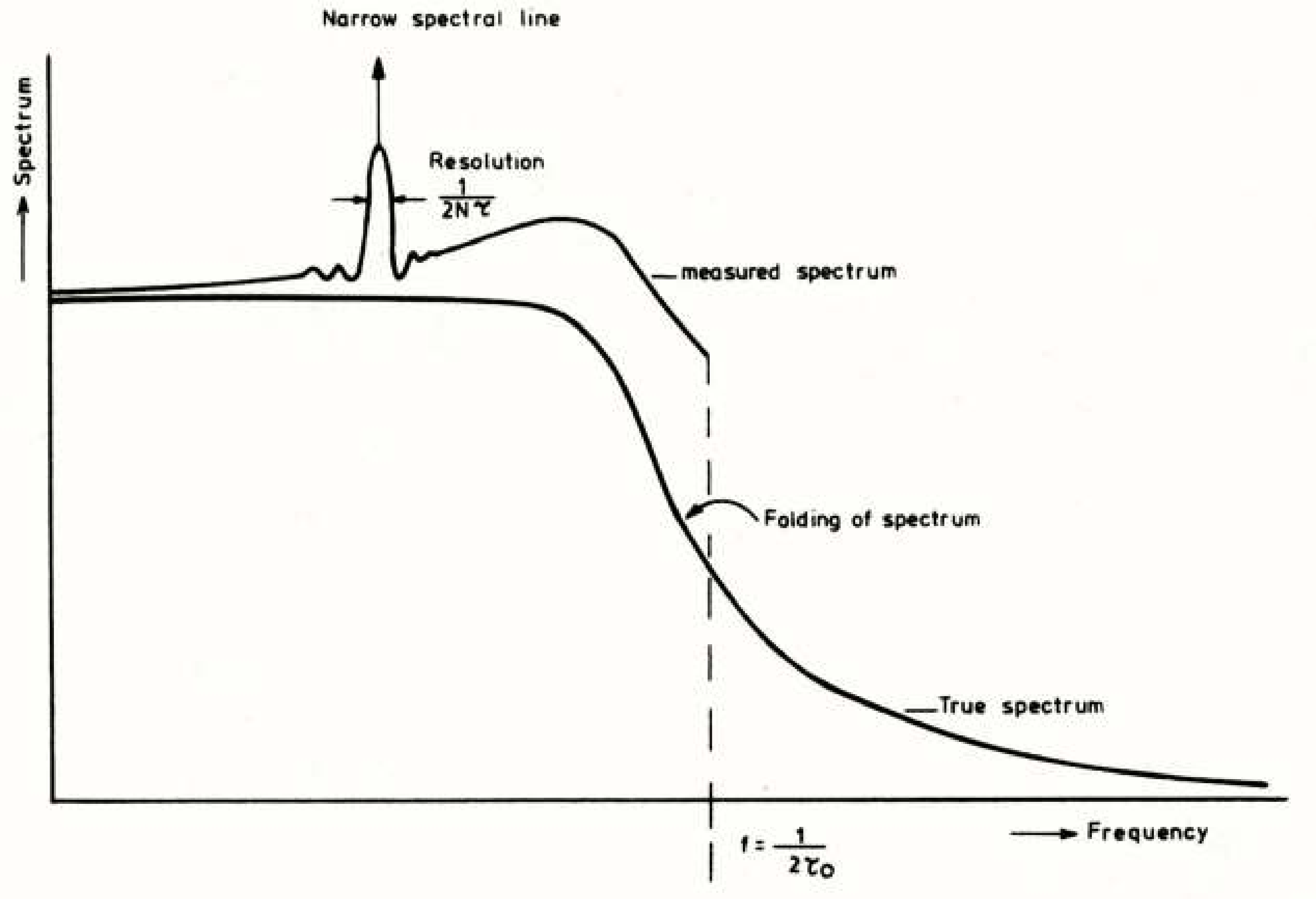


FIG. 2 An illustration of the practical limitations of spectrum measurement in the time domain.

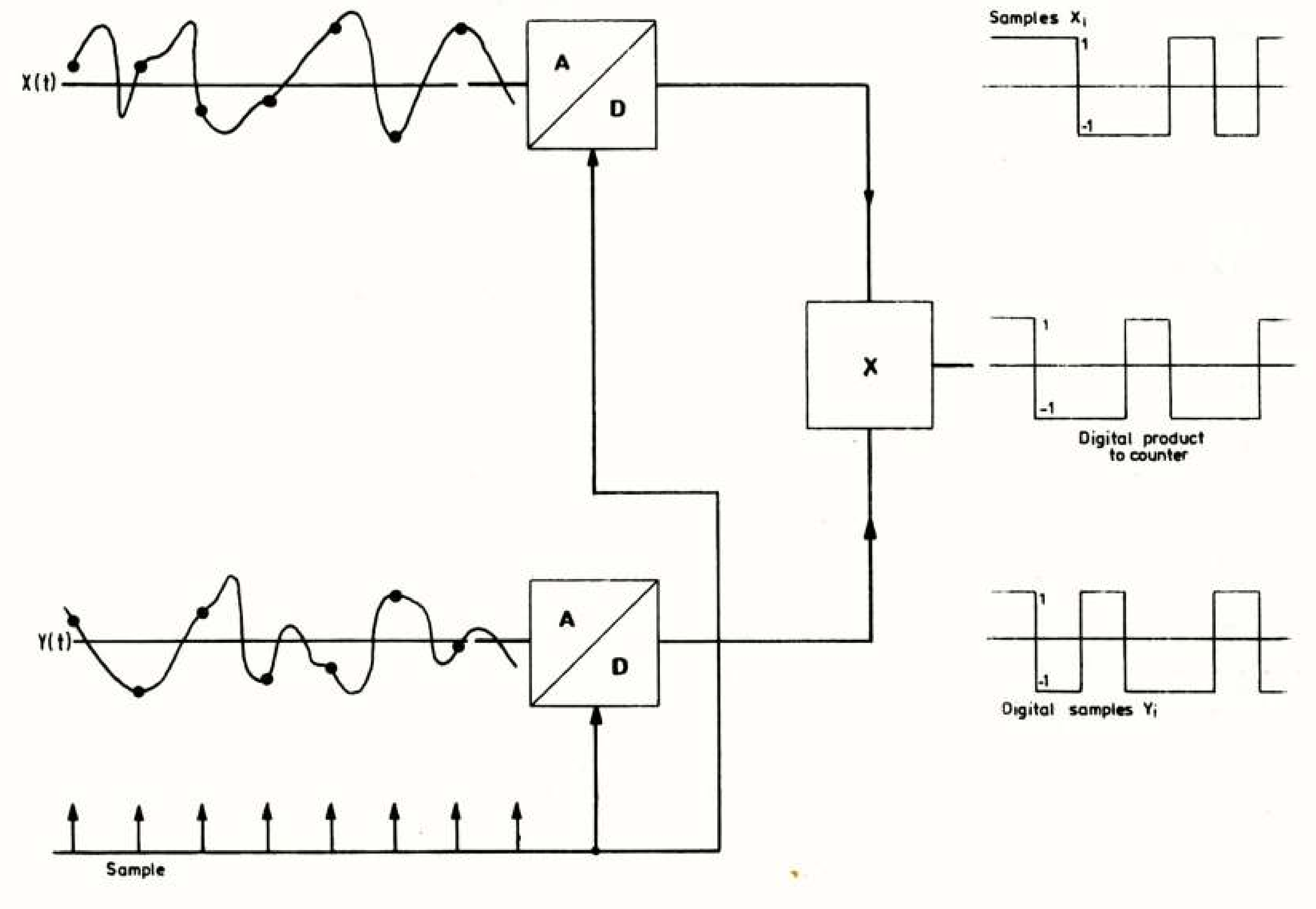


FIG. 4 A simplified digital one bit correlator with random noise input. The product shown is the Exclusive-NOR.

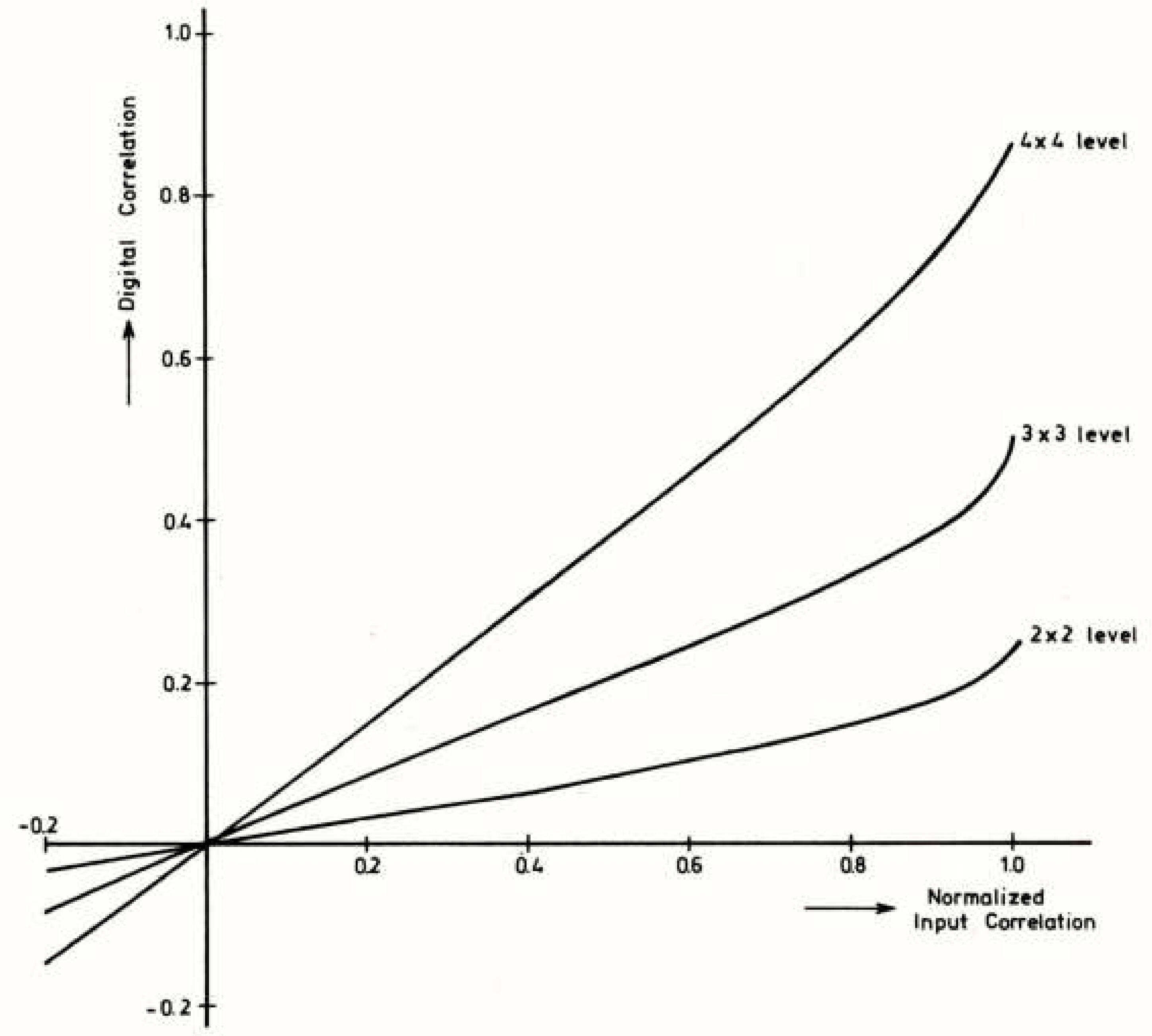


FIG. 5 The digital response as a function of normalized input correlation for different correlation methods.

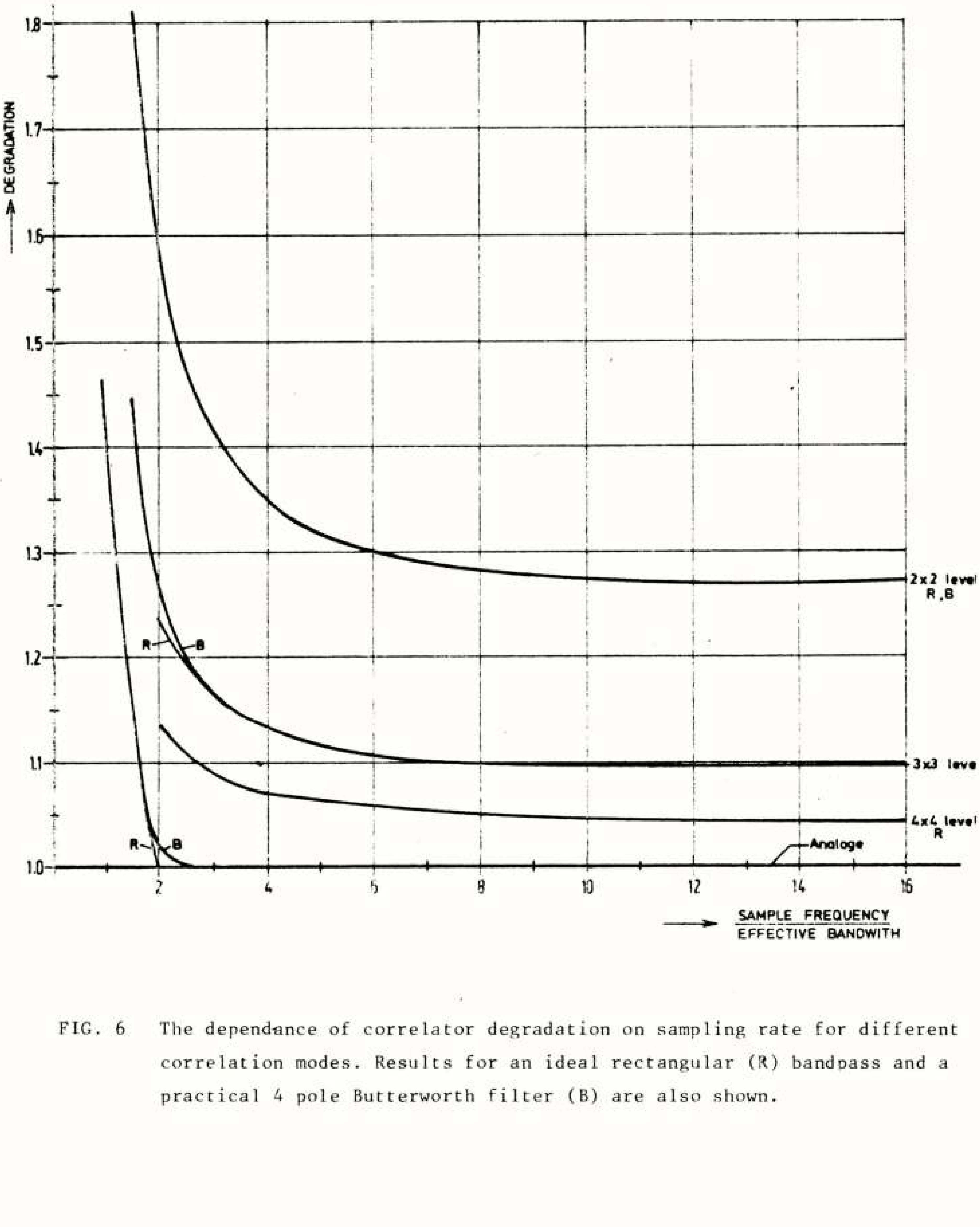


FIG. 6 The dependance of correlator degradation on sampling rate for different correlation modes. Results for an ideal rectangular (R) bandpass and a practical 4 pole Butterworth filter (B) are also shown.

result of the quantization process. The correlation function distortion is representative of the spectrum distortion. This point is of minor importance, provided the exact form of the correlation M (x, y) is known, as complete correction as possible. In order to know M (x, y), it is, of course, necessary to accurately know the decision levels in the analogue of digital conversion step. The means for knowing the levels is to simultaneously determine the number of occurrences of each digital level. This would require some extra monitor channels.

It may be also noted that a normalized correlation R has been used. It is a fundamental point that a 2 level digital correlator must lose all amplitude information for the inputs. In practice, this is also true for 3 or 4 level correlators, since optimum sensitivity is only obtained by maintaining the decision levels within narrow limits. That is, the quantizing noise is least when the decision levels are set at certain fractions of the input signal amplitude.

It is common practice, then, to allow the analogue to digital conversion to normalise the input signals to unit power. Denormalisation requires separate independent power measurements on each input signal.

The quantizing noise created represents an increase in the noise fundamental present in any correlation measurement. The loss in sensitivity is a point of crucial importance when comparing analogue and digital systems. Considerable attention has been paid, in the literature to ways of reducing the noise penalty while still only requiring relatively simple correlators (Cooper - 1970, Bowers and Klingler - 1974).

A digital correlator evaluates a digital product between two digitized and sampled signals X_1, Y_1. The averaged product may be represented, for a particular set of samples, as

$$\rho = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} X_1 \cdot Y_1$$

and, provided the average correlation is zero, the mean square may be easily determined. Bowers and Klingler derive exact results and show that the noise depends on

1) the correlation scheme used;
2) the bandpass analysed;
3) the sampling rate used.

Roughly speaking, it is possible to speak of two effects to be considered. There is the average noise of any sample, which is determined only by the correlation method used. For example, a one bit correlator, measuring an uncorrelated signal, always produces a product of $\pm$ 1. The result is always operated on by a Van Vleck correction of $\sin\left(\frac{\pi}{2}\rho\right)$ which has a slope near low correlations of $\pi/2$. The rms of a single sample is therefore $1 \times \pi/2$. An analogue, perfect correlator would produce an rms of unity.

The second effect is dependent on bandwidth and sampling rate. If all samples are independent as will occur when measuring a rectangular band BHz with the Nyquist sampling rate 2 BHz, then the resultant rms is reduced by the square root of the number of samples in a given integration period. The noise after a time T for a 2 level correlator after Van Vleck correction is given by,

$$\Delta R_{rms} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2BT}}$$

where 2BT samples occur in the time T. An analogue correlator produces a figure $(2BT)^{-\frac{1}{2}}$. It is common to simply refer to the degradation of the digital correlator performance compared with an analogue correlator.

Analysis of the noise properties for non-rectangular bandpasses or oversampling requires a more detailed analysis such as that of Bowers and Klingler. Fig. 6 shows the results of calculations for a rectangular bandpass and a practical bandpass. A good comparison can be made between the effects of increased number of digitizing levels and increased sampling rate. For example, a 4 x 4 level correlator sampled at the Nyquist rate is closely equal in performance to a 3 x 3 level correlator sampled at twice the Nyquist rate. Comparison of the relative difficulty of implementation is difficult. Both systems are used in practical correlators.

6. CONCLUSIONS.

The digital correlator represents a significant improvement over analogue correlator systems. This is particularly so in the considerations of flexibility and size of the correlator system which can be safely considered. A large system can be implemented more cheaply, more accurately and in a smaller physical volume. Against these advantages must be considered the loss of sensitivity caused by a digital correlator. The sensitivity loss may be traded off against the number of quantization levels and sampling rate. In this sense it is not unlike most digital implementations of practical system. One noticeable difference is that the approach is only feasible when few levels of quantization are used. It is not possible to ignore the quantization and corrections must be applied for the effects of quantization.

REFERENCES.

Weinreb, S., "A digital spectral analysis technique and its application to radio astronomy", M.I.T. Technical Report # 412, 1963.

Vleck, J.H. van and Middleton, D., "The spectrum of clipped noise", Proc. IEEE, vol. 54, no. 1, pp. 2-19, Jan. 1966.

Bowers, F.K. et al., "A digital correlation spectrometer employing multilevel quantization", Proc. IEEE, vol. 62, no. 9, pp. 1339-1343, Sep. 1963.

Christiansen, W.N. and Högbom, J.A., "Radiotelescopes", Cambridge University Press 1969.

Casse, J.L. and Muller, C.A., "The Westerbork Synthesis Telescope - the 21 cm continuum receiver systems". Astron. & Astroph. 31, pp. 333-338..

Rabiner, C.M. and Gold, B., "Digital filter design techniques in the frequency domain", Proc. IEEE, vol. 55, no. 2, pp. 149-171, Febr. 1967.

Blackman, R.B. and Tukey, J.W., "The measurement of power spectra", Dover Publications, Inc. New York 1959.

Lee, Y.W., "Statistical Theory of Communication", Wiley and Sons, 1960.

Cooper, B.F.C., "Correlators with Two-Bit Quantization", Aust. J. Phys. 23, pp. 521-527, 1970.

Bowers, F.K. and Klingler, R.J., "Quantization noise of correlation spectrometers", Astron. and Astroph. Supp. 15, pp. 373-380, 1974.

Voordracht gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section-IEEE.

DE 5000 KANAALS DIGITALE CORRELATOR ONTVANGER IN WESTERBORK.

Ir. A. Bos
Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg

1. INLEIDING.

Deze bijdrage beschrijft de opzet van een 5000 kanaals digitaal korrelator systeem voor de synthese teleskoop in Westerbork. Dit systeem zal het volgend jaar het spektraal oplossend vermogen van de teleskoop beter dan twee procent maken. De taak van de korrelator is het meten van de kruiskorrelatiefunkties tussen de uitgangssignalen van de vaste en beweegbare teleskopen. Deze kruiskorrelatiefunkties worden digitaal gemeten op een manier zoals in O'Sullivan's bijdrage is uiteengezet. De gemeten korrelatiefunkties worden on-line getransformeerd tot spektra en weggeschreven op magneetband. De gegevens op deze magneetband worden op een off-line computer verder verwerkt tot ze interpreteerbaar zijn door de eindgebruiker.

In het hierna volgende worden aan de hand van de systeem specifikaties de belangrijkste parameters voor de daarna te behandelen systeem opbouw besproken.

2. SPECIFIKATIES.

De belangrijkste parameters voor de specifikatie van dit systeem zijn:

a) de bandbreedte;
b) spektraal oplossend vermogen;
c) gevoeligheid;
d) flexibiliteit.

De systeem definitie is als te doen gebruikelijk een optimalisatie van astronomische wensen, het technisch mogelijke, beschikbare kennis en mankracht en het beschikbare budget.

2.1. De bandbreedte.

De bandbreedte wordt allereerst bepaald door het type objekten dat met het ontvanger systeem moet worden gemeten. In deze objekten kunnen zowel breedbandige lijnen (b.v. 21 cm lijn spektra) als smalbandige lijnen (b.v. molekuul spektra) voorkomen. Het ontvanger systeem zal daarom met een aangepaste bandbreedte moeten kunnen werken om het spektraal oplossend vermogen over de te meten lijn konstant te houden. De maximum bandbreedte bepaald de maximum bemonsteringsfrekwentie en daarmee de snelheid van de logika van de korrelator.

Deze bandbreedte is i.v.m. de beschikbaarheid van goedkope komponenten en de systeem grootte vastgelegd op 10 MHz, hetgeen vrijwel alle behoeften van astronomische zijde dekt. Totaal zijn 8 bandbreedtes gerealiseerd oplopend met machten van 2 van 78 kHz tot 10 MHz.

2.2. Het spektraal oplossend vermogen.

Het spektraal oplossend vermogen is omgekeerd evenredig met het aantal meetpunten van een spektrum. Technisch gezien bepaald dit de omvang van het systeem omdat het aantal komplexe punten van het spektrum gelijk is aan twee maal het aantal te meten punten (kanalen) van de korrelatie funktie. Het totale aantal kanalen is dan het aantal kanalen per interferometer maal het aantal interferometers. Voor een spektraal oplossend vermogen van ~ 2 % en 40 interferometers geeft dit 5120 kanalen.

2.3. De gevoeligheid.

De gevoeligheid van het systeem wordt wat het backend betreft bepaald door de quantisatie ruis van de A/D omzetters. Door O'Sullivan is uiteengezet dat een 1-bit systeem reeds volledig het te meten spektrum geeft zij het met een reduktie in gevoeligheid. Het overgrote deel van dit verlies (80 %) kan echter worden teruggewonnen door over te gaan op een 2-bit A/D konversie met als nadeel een aanzienlijk komplexere hardware.

De oplossing die gerealiseerd is, gebruikt daarom twee kanalen voor één, in 2-bit mode gemeten punt. De verbetering van de gevoeligheid is derhalve gezocht in de reduktie van spektraal oplossend vermogen met een faktor twee ten gerieve van een eenvoudige hardware. Wel is een keuze mogelijkheid ingebouwd zodat de gebruiker afhankelijk van het te meten objekt z'n gevoeligheid en spektraal oplossend vermogen kan optimaliseren. De uiteindelijke mogelijkheden zijn samengevat in tabel 2.1.

vaste tel. (bit)	beweegbare teleskoop (bit)	degradatie faktor d	aantal kanalen p. punt	opmerking
1	1	1.57	1	
1	2	1.32	1	voor B $\leq$ 5 MHz
1	$1\frac{1}{2}$	1.44	1	voor B = 10 MHz
2	2	1.12	2	voor B $\leq$ 5 MHz
2	$1\frac{1}{2}$	1.21	2	voor B = 10 MHz

tabel 2.1. De korrelator modes.

De twee linker kolommen geven het aantal bits dat voor de A/D konversie gebruikt wordt. De $1\frac{1}{2}$ bit mode is een mode die in verband met snelheidsbeperkingen in de logika met 2 referentie niveau's werkt voor de A/D konversie en daarom alleen gebruikt wordt voor een bandbreedte gelijk aan 10 MHz. De degradatie faktor is de toename van de systeem temperatuur tengevolge van de A/D konversie ten opzichte van een analoge korrelator (d = 1).

2.4. De flexibiliteit.

Een grote mate van flexibiliteit is voor dit systeem een vereiste vanwege een breed toepassingsgebied van de korrelator en een optimaal gebruik van het beschikbare arsenaal aan teleskopen en beschikbare ontvangers.
In 2.3. is reeds aangegeven dat spektraal oplossend vermogen ingeruild kan worden tegen gevoeligheid. Eenzelfde mogelijkheid bestaat (en is wenselijk) voor het inruilen van ruimtelijk oplossend vermogen en/of gevoeligheid. Deze flexibiliteits eisen zijn derhalve een belangrijke faktor geweest voor de systeem opbouw.

3. SYSTEEM OPBOUW. (zie fig. 3.0.).

Iedere teleskoop levert aan het backend twee signalen. Deze 28 signalen, in een band rondom 30 MHz, worden allereerst toegevoerd aan 28 I.F. units die genoemde band naar de video band konverteren. De signalen in de video band worden van analoog naar digitaal omgezet en vervolgens toegevoerd aan een kruis korrelator.

De korrelator kan gezien worden als een "special purpose" computer die de korrelatie funkties van een aantal ingangssignalen berekent met een snelheid van 20 MHz, simultaan voor een totaal van 5120 punten. De gemeten korrelatie funkties worden intern geïntegreerd over normaal 10 sekonden en daarna via een tussenbuffer uitgelezen door een on-line computer. De on-line computer voert de voorbewerkingen uit op de gegevens en slaat deze op op magneetband. Een off-line computer bewerkt deze gegevens verder tot ze interpretatierijp zijn.
Het backend valt ruwweg uiteen in 3 stukken:
a) de I.F. units;
b) de A/D omzetters;
c) de korrelator.

3.1. De I.F. units.

Een I.F. unit konverteerd een frekwentieband van 10 MHz bandbreedte, gecentreerd rond 30 MHz, naar de videoband. Hier worden door middel van laag doorlaat filters de acht bandbreedtes van het ingangssignaal van de correlator gekozen (10, 5, 2.5, 1.25 MHz, 625, 312, 156, 78 kHz). De konversie en bandbreedte beperking zijn nodig om
a) de bemonsterings frekwentie zo laag mogelijk te houden;
b) om vouwen van het spektrum tengevolge van het periodieke sampling proces te voorkomen (aliasing).

Voor scalering van de korrelatie funktie (zie 3.2.) wordt het vermogen in het uitgangssignaal gemeten en als een apart kanaal in de korrelator beschikbaar gemaakt.

3.2. De analoog naar digitaal omzetters.

De analoog naar digitaal omzetters konverteren de amplitude van het ingangssignaal naar een 2-bits binaire code. De amplitude van het analoge ingangssignaal wordt hiertoe vergeleken met 3 referentie niveau's V_o, V_+ en V_- (zie fig. 3.2.).

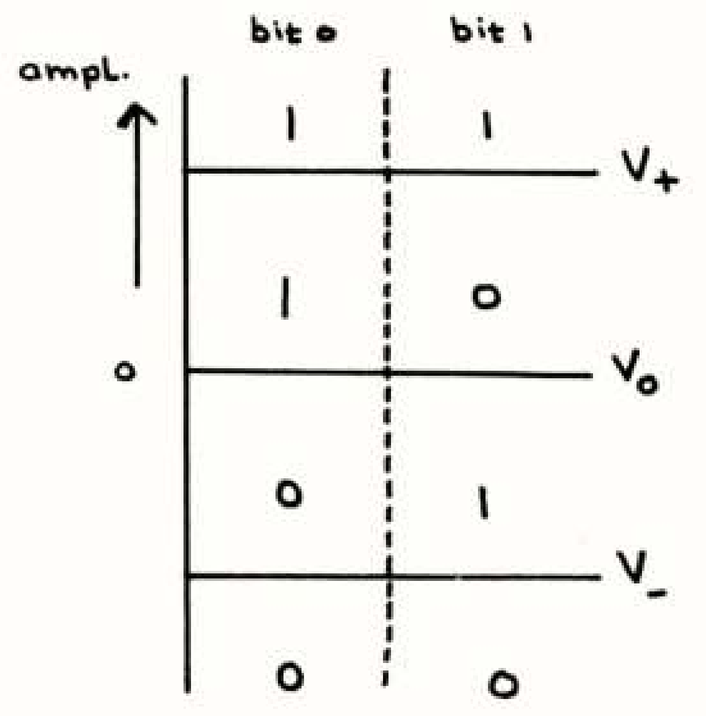


fig. 3.2. A/D omzetter kodering.

De waarde van de referentie niveau's wordt voor V_+ en V_- via een regellus op plus minus de momentane waarde van de standaard deviatie van de amplitude van het ingangssignaal gehouden. Het niveau V_o wordt eveneens via een regellus op nul gestabiliseerd.
De konsekwentie hiervan is dat de korrelator alleen een genormeerde korrelatie funktie meet. De schaalfaktor hiervoor wordt door aparte detektoren in de I.F. units gemeten.

3.3. Funktionele opbouw van de korrelator.

De korrelator is funktioneel gezien opgebouwd uit de volgende stukken (zie fig. 3.3.).
a) 320 modules, die ieder 16 punten van één of meer korrelatie funkties berekenen;
b) een konfiguratie selektor waarmee allereerst het aantapunten (met eenheden van een module) van de korrelatie funktie(s) gekozen kan worden. Aangezien het totale aantal kanalen vast is, ligt hiermee het aantal korrelatie funkties eveneens vast. Dit aantal korrelatie funkties is gelijk aan het aantal interferometers waarmee gemeten kan worden. De tweede selektie mogelijkheid betreft de keuze, welke teleskopen voor de gegeven korrelatie funkties met elkaar gekorreleerd worden;
c) een besturingsgedeelte verantwoordelijk voor
   i) de generatie en distributie van de kloksignalen;
   ii) het leiden van de gegevens stroom van ingang naar uitgang;
   iii) de kommunikatie met de on-line computer.

3.3.1. Een korrelator module.

Een korrelator module bestaat uit (zie fig. 3.3.1.):
a) een 16 bits schuifregister dat de vertragings operatie uitvoerd;
b) 16 vermenigvuldigers die een logische vermenigvuldiging uitvoeren;
c) 16 30-bits tellers die het resultaat van iedere vermenigvuldiging integreren.

Voor de 2-bit mode van het systeem worden twee van deze modules zowel in de korrelator als in de on-line verwerking gekombineerd om het voor deze 2-bit mode vereiste vermenigvuldigingsschema te realiseren.

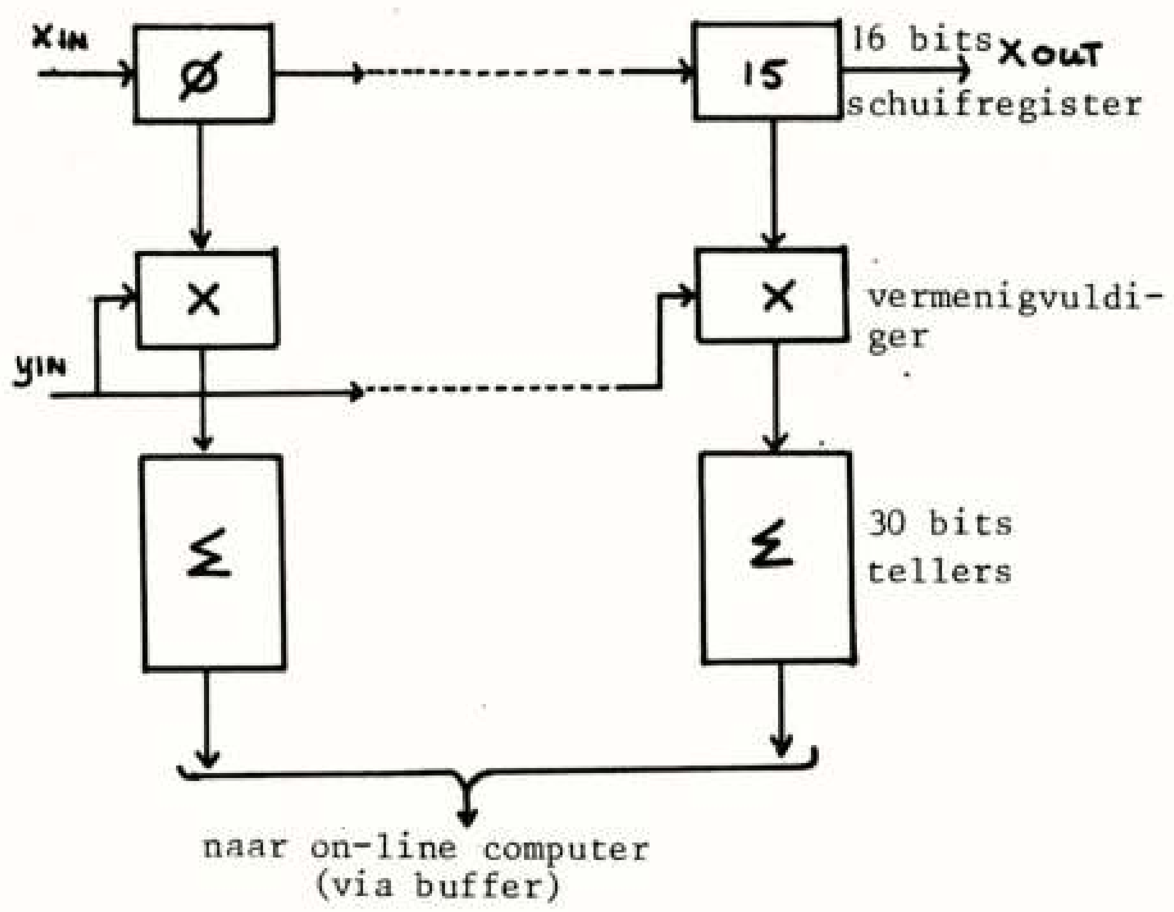


Fig. 3.3.1. Een korrelator module.

De modules kunnen in serie gebruikt worden door de X IN lijnen te verbinden met X OUT lijnen van een voorafgaande module en door de Y IN lijnen van de desbetreffende modules parallel door te verbinden.

3.3.2. De konfiguratie selektor.

De konfiguratie selektor is verantwoordelijk voor het realiseren van de verschillende korrelator konfiguraties. De 5120 kanalen zijn hiertoe verdeeld in 320 modules van 16 kanalen.

Iedere module heeft een schuifregister ingang X IN, een schuifregister uitgang X OUT en een vermenigvuldiger ingang Y IN (zie fig. 3.3.1.). De taak van de konfiguratie selektor kan nader omschreven worden als:

a) het verbinden van een schuifregister ingang met de uitgang van de voorafgaande module of met een externe lijn;
b) het verbinden van de Y IN lijnen en bovengenoemde externe lijnen aan de uitgangen van de A/D omzetters.

De onder b) genoemde taak wordt vervuld door een matrix die een uitgang kan verbinden met elke A/D omzetter uitgang. De afmeting van deze matrix is beperkt tot 56x56 door de Y IN lijnen en de externe lijnen onderling te kombineren in een patroon dat bepaald wordt door de verhouding van het aantal vaste en beweegbare teleskopen.

Dit beperkt het aantal basis konfiguraties tot 14.

Tabel 3.3.2. geeft deze mogelijke basis konfiguraties met het daarbij behorende aantal interferometers.

De konfiguratie selektor vervult naast de taken a) en b) nog twee neven taken:

c) het toevoegen van een basiskonfiguratie afhankelijke vertraging in de Y IN lijnen. Dit is nodig voor het meten van de punten met negatieve vertraging van de kruis korrelatie funktie;
d) het draaien van de fase van de A/D omzetter uitgangssignalen met 180°. Dit geeft de mogelijkheid to het toepassen van fase geschakelde ontvanger technieken.

Aantal komplexe frekwentie punten	Aantal interferometers 2x2 + 2x4 + 2x3 mode	4x4 + 4x3 mode
8	320	160
16	160	80
32	80	40
64	40	20
128	20	10
256	10	5
512	5	-
40	64	32
80	32	16
160	16	8
320	8	4
640	4	2
1280	2	1
2560	1	-

tabel 3.3.2. Het aantal interferometers voor de basis konfiguraties.

3.2.4. Het besturingsgedeelte.

Het besturingsgedeelte is opgesplitst in een aantal besturingseenheden voor de verschillende hardware stukken. Deze besturingseenheden zijn ieder voor zich verantwoordelijk voor de signaaltransport door hun toegevoegde hardware gedeelte. Iedere besturingseenheid heeft een aantal programmeringslijnen die op hun beurt door een programmeereenheid bestuurd worden.

De programmeereenheid is een simpele mikro computer die middels de programmeerlijnen de meetcyclus van de korrelator bestuurd. Modifikatie van de meetcyclus kan gedaan wordem door het vervangen van een ROM (read only memmory). De korrelator konfiguraties worden geprogrammeerd door het laden van een aantal RAM's (random access memories) in de besturingseenheid. Het veranderen van de meetkonfiguratie is derhalve gereduceerd tot het opnieuw laden van de RAM's.

3.4. De hardware opbouw van de korrelator.

De korrelator is opgebouwd uit 320 printkaarten die samen ongeveer 30.000 integrated circuits bevatten. De printkaarten zijn met hun voedingen ondergebracht in een rek van 2,75 x 1,60 m.

De logische opbouw weerspiegelt in grote lijnen de funktionele opbouw. De stukken zijn derhalve:

- de konfiguratie selektie
- de korrelatoren
- de tellers
- de besturing

waarbij de grootste hoeveelheid integrated circuits verwerkt is in de korrelatoren en de tellers (29.000).

De keuze van de integrated circuits en de verdeling er van over de printkaarten wordt bepaald door:

a) de flexibiliteitseisen,

b) de vermogens dissipatie en de komponenten dichtheid,

c) de klokfrekwentie van 20 MHz,

d) de testbaarheid.

De flexibiliteitseisen maken een modulaire opbouw noodzakelijk wat enerzijds de testbaarheid van het systeem vergroot maar anderzijds ekstra bedrading en komponenten vergt.

De vermogens dissipatie dient in verband met de grote hoeveelheid komponenten geminimaliseerd te worden, terwijl de komponenten dichtheid in verband met de hoge snelheid van de logika en met in achtname van a) en b) zo hoog mogelijk dient te zijn.

Dit is bereikt door zoveel mogelijk komplexe funkties te gebruiken en het type logika aan te passen aan de plaatselijke snelheid. Een voorbeeld hiervan is de opbouw van de tellersektie zoals weergegeven in tabel 3.4.

De gehele tellersektie is op de eerste twee trappen na opgebouwd uit schuifregisters wat het gebruik van een zo groot mogelijk aantal identieke komponenten mogelijk maakt. Het door de voedingen en hardware gedissipeerde vermogen wordt middels een geforceerde koeling afgevoerd. De klokfrekwentie van 20 MHz maakt het wenselijk om zoveel mogelijk bedrading te elimineren en de bedrading voor zover aanwezig te minimaliseren wat de lengte betreft. Een hiermee verwant probeleem is de overspraak veelal geïntroduceerd door aardlussen. De gehele klok distributie is derhalve stervormig opgezet, terwijl voor signaal overdracht over langere afstanden synchronisatie m.b.v. schuifregister trappen gebruikt is. De voedingen zijn in verband met dit overspraak probleem verdeeld in eenheden van 30A waarbij de bedrading zodanig is uitgevoerd dat, waar mogelijk, de vereffeningsstromen tussen onderling doorverbonden stukken logika geminimaliseerd zijn.

De testbaarheid van het systeem speelt al bij het ontwerp en opzet van de printkaarten een rol. De printkaarten worden apart met behulp van een testschakeling en een minicomputer getest.

Voor het testen van het systeem kunnen op een aantal plaatsen testsignalen geïnjekteerd worden. Die plaatsen zijn zodanig gekozen dat een systematische test en foutzoek procedure mogelijk is m.b.v. de on-line computer. De basis test is steeds het vergelijken van een aantal referentie banden met de rest.

teller trap	maximum frekwentie (MHz)	dissipatie per bit (m w)	aantal IC's	gebruikte logika	aantal kan. per kaart	kaart type
1	40	75	2	schottky TTL	32	1
2	20	75		high speel TTL		
3...6	10	15		low power TTL		
7...13	6.67	15	1.1	" " "	64	2
13..30	1.67	1	0.14	MOS	512	3

tabel 3.4. Teller opbouw.

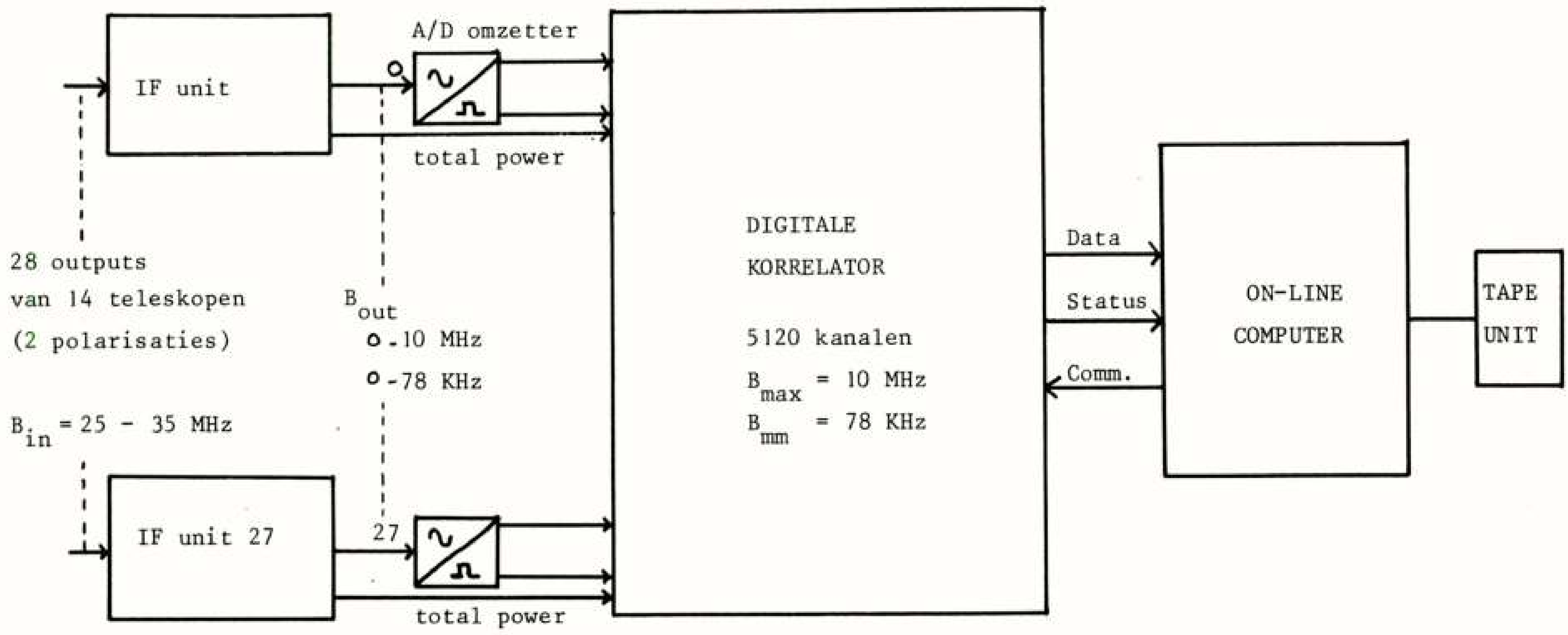


Fig. 3.0. Blokschema backend.

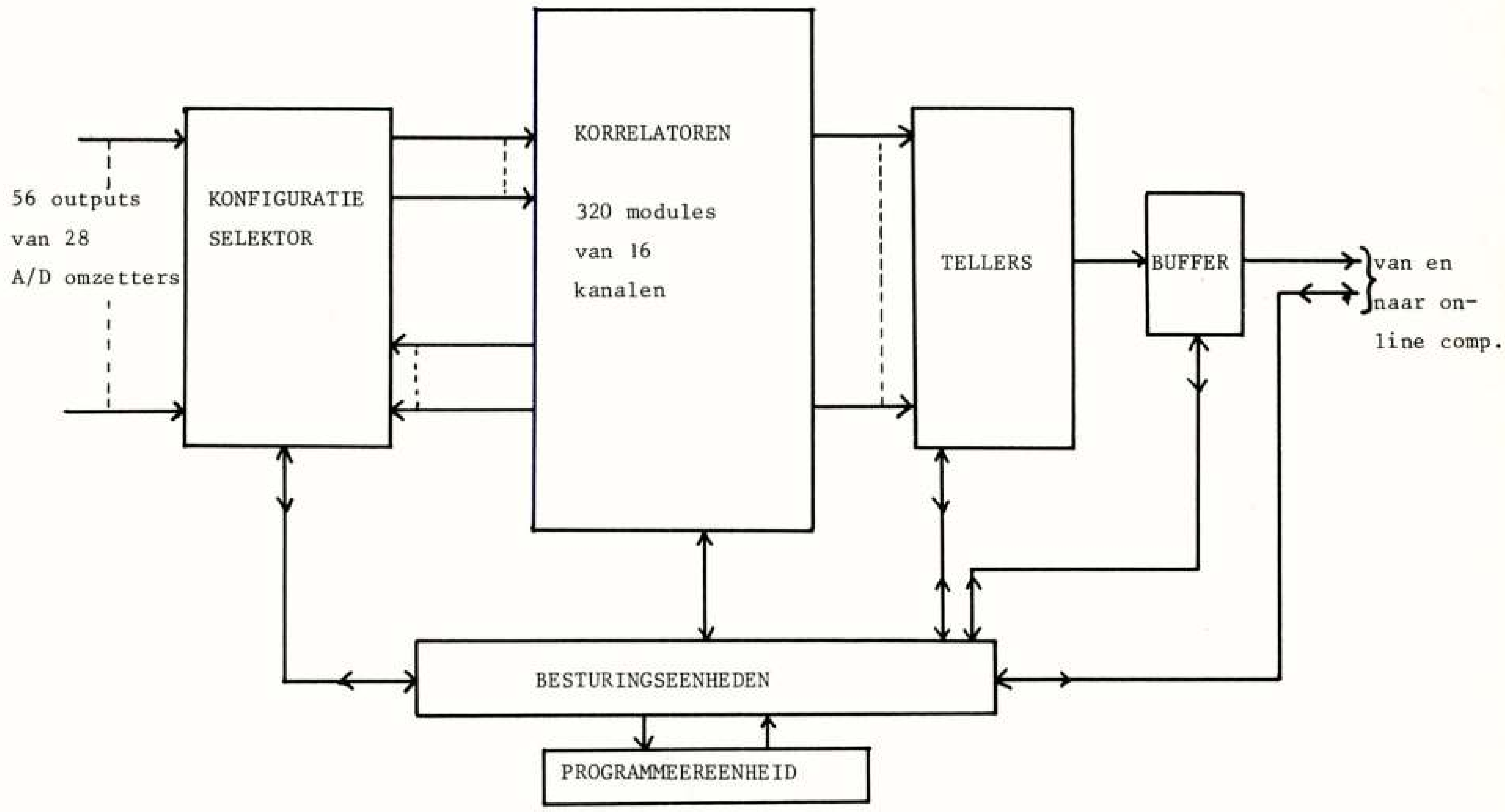


Fig. 3.3. Blokschema 5000 kanaals korrelator.

Voordracht gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section IEEE.

INSTRUMENTELE EN ATMOSFERISCHE STORINGEN; HUN GEVOLGEN EN HUN BESTRIJDING.

Ir. J.D. Bregman
Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg

1. INLEIDING.

Voor we van een verstoring kunnen spreken zal eerst de reguliere werking beschouwd moeten worden. Hiertoe zal een enkele interferometer bekeken worden waarna van alle kritische komponenten het niet ideale gedrag nader wordt geanalyseerd.

Eveneens zal ingegaan worden op enkele atmosferische effekten en het onderscheid tussen de invloed van atmosferische en instrumentele verstoringen op de gesynthetiseerde helderheisverdeling. Vervolgens komen de bestrijdingsmogelijkheden zowel voor afzonderlijke komponenten als voor het systeem als geheel aan bod. Als laatste punt zal ingegaan worden op de effekten van eksterne storingen waarna met enkele samenvattende konklusies wordt geëindigd.

2. DE ELEMENTAIRE INTERFEROMETER.

De werking van een interferometer gaan we na aan de hand van figuur 1. Hierin zijn de beide teleskopen gericht op een puntvormig objekt dat zover staat dat we een vlak golffront waarnemen. De basislijn B maakt een hoek θ met de richting van het objekt. Beschouwen we nu een verplaatsing $\Delta\theta$ van het objekt in de richting van de basislijn dan verandert het weglengteverschil $L \cos \theta$ tussen beide teleskopen en het golffront met een bedrag $\Delta\ell = \Delta\theta \; L \sin \theta$. Het produkt van de twee signaal spanningen krijgt daardoor een fase verandering $\Delta\phi = 360 \; \Delta\ell/\lambda$ waar λ de golflengte van het waargenomen signaal is. Om deze fase te bepalen beschikken we per interferometer over twee korrelatoren in kwadratuur gevolgd door integrators. Het gekorreleerde signaal is op te vatten als een komplexe fourier komponent waarvan de amplitude evenredig is met het ontvangen vermogen, terwijl de fase door de positie t.o.v. de basislijn bepaald wordt.

De interferometer werkt dus als een spatieël filter dat van de ruimtelijke helderheids temperatuur verdeling de spatiële frekwentie $L \sin \theta/\lambda$ doorlaat. Breiden we het begrip weglengte uit tot elektrische weglengte zoals we die in een atmosfeer, ontvanger en lokale oscillator kabels vinden, dan zien we dat bepaling van een bron positie uit een interferometer fase verstoord wordt door verandering van de elektrische weglengte in de twee signaal paden van een interferometer. Voor een bron in de meridiaan, met $\theta = 90^{\circ}$ vinden we bij een basislijnlengte B = 1500 m dat een fasefout $\Delta\phi = 2^{\circ}$ korrespondeert met een elektrische lengte en een positie verandering die afhankelijk is van de golflengte waarop wordt waargenomen en is gegeven in de volgende tabel:

λ	$\Delta\ell$	$\Delta\theta$	
6 cm	0,3 mm	0",05	$\Delta\phi = 2^{\circ}$
21 cm	1,1 mm	0",17	B = 1500 m
49 cm	2,7 mm	0",4	

Voor 6 cm praten we dus over relatieve lengte nauwkeurigheden van $2 \; 10^{-7}$.

3. NIET IDEAAL GEDRAG VAN ENKELE KRITISCHE KOMPONENTEN.

In de vorige paragraaf zijn de komponenten waaruit een interferometer is opgebouwd aangegeven. Voor de nauwkeurige werking van een interferometer is het verschil in effektieve elektrische lengte tussen de beide armen van de interferometer bepalend. We zullen nu nagaan hoe de symmetrie in de opbouw van de interferometer door de verschillende komponenten verstoord wordt.

3.1. Teleskopen.

In de huidige konfiguratie worden alleen korrelaties gemaakt tussen een vaste en een verrijdbare teleskoop. Het verrijdbaar zijn, noodzakelijk om alle gewenste basislijn afstanden te verkrijgen, is gerealiseerd door de teleskoop op een stalen wagen te plaatsen. Bij verandering van de buiten temperatuur zal de gehele teleskoop groter of kleiner worden maar zijn vorm behouden. Doordat de wagen aan de noordelijke rail is vastgeklemd zal bij thermische uitzetting het brandpunt zich iets in zuidelijke richting en iets in vertikale richting verplaatsen. De vaste teleskopen staan op een betonnen fundering in de grond zodat daar nauwelijks van thermische uitzetting sprake is en het brandpunt zich alleen in vertikale richting zal verplaatsen en wel met een ander bedrag dan de verrijdbare teleskoop omdat de vorm van de teleskoop onderbouw zal veranderen. Resulterend krijgen we een richtingsverandering van de basislijn, de verbindingslijn tussen beide brandpunten, van de orde 0,1 mm per $^{\circ}$C temperatuursverandering.

Een tweede effekt wordt veroorzaakt door de afwijking in de richting van de poolassen van de teleskopen die samen een interferometer vormen. Om konstruktieve redenen is de teleskoop zodanig gebouwd dat poolas en deklinatie as elkaar niet snijden maar kruisen en een onderlinge afstand hebben van ca. 5 m. Maken de poolasssen van twee interferometer teleskopen nu een kleine hoek met elkaar

dan zal tijdens het volgen van een bron de verbindingslijn tussen de beide deklinatie assen en dus ook de basislijn van richting veranderen. Voor een poolas afwijking van 1 bgmin. vinden we een effektieve elektrische lengte verandering van ca. 1 mm gedurende de twaalf uur dat we een bron volgen.

Voor de sterkte van het ontvangen signaal is het van belang dat het gevolgde objekt in het midden van de primaire bundel van de parabolische reflektor blijft. Als een uitgebreid objekt in kaart gebracht moet worden zal een deel van de ontvangen straling op de flank van de primaire bundel liggen. Dit betekent dat een kleine richtfout van de teleskoop een aanzienlijke verandering van het ontvangen signaal van de desbetreffende komponent zal geven, een relatieve verandering die afhankelijk is van de plaats in het waar te nemen gebied. Dit is een niet lineariteit die achteraf niet meer te korrigeren is.

3.2. Frontend.

Deze voorversterker eenheid van ca. 150 kg. bestaat uit een frame met een dubbel gethermostreerde doos die alle elektronische komponenten bevat, en een feed met launcher die het signaal in het brandpunt van de parabolische reflektor opvangt. De parametrische voorversterkers, met op 21 cm een effektieve systeem temperatuur van 90 K, zijn evenals de mixers en overige versterker elementen in de gethermostreerde doos ondergebracht. Sommige komponenten, zoals de verbinding tussen de dipolen in de launcher en de voorversterker zijn van aparte thermostaten voorzien. Hiermee is in totaal een effektieve afscherming van invloeden van buitenaf gerealiseerd en wordt verder alleen gebruik gemaakt van de intrinsieke elektronische stabiliteit van de verschillende komponenten.

3.3. Lokale oscillator kabels.

De hoogfrekwente verbindingen tussen teleskoop en centraal ontvanger gebouw worden gevormd door lucht gevulde coaxiale kabels. Om een symmetrische opbouw te verkrijgen zijn alle teleskopen, ook degenen die dicht bij staan, door kabels van gelijke lengte met het dienstgebouw verbonden. Het totale kabeltracé bestaat uit een lange grondkabel, een stuk teleskoop bekabeling en een paar korte stukken die de flexibele verbindingen over de assen vormen. De elektrische lengte wordt beïnvloed door de buiten temperatuur die een mechanische uitzetting teweegbrengt en door de gasdruk in de kabels die de effektieve diëlektrische konstante bepaalt. In de volgende tabel zijn de karakteristieke gegevens van het kabelsysteem samengevat.

	lengte	uitzettings koëfficiënten		elektrische uitzetting	
	(m)	$(10^{-6}/^{o}C)$	$(10^{-8}/mbar)$	$(mm/^{o}C)$	(mm/mbar)
grond	867	10	50	10	0,4
teleskoop	75	10	50	0,9	0,03
jumper	5	-60	---	- 0,4	---

In de jumpers, de buigzame verbinding, is coax kabel met een gevlochten buitenmantel gebruikt. Bij dit type kabel is de elektrische lengte gevoelig voor torsie en hoewel door een zorgvuldige mechanische opbouw getracht is alleen buiging te realiseren geven de jumper verbindingen toch een fase verandering in de orde van 2° op 1415 MHz bij een halve slag verbuiging.

Uit metingen is gebleken dat er een spreiding bestaat in de effektieve thermische uitzettingen tussen de kabels op één teleskoop en tussen de kabels op verschillende teleskopen in de orde van 0,15 $mm/^{o}C$. Dit resulteert op 6 cm golflengte in faseveranderingen van ca. 15° per interferometer bij temperatuur variaties van 10° C. Dit soort temperatuur veranderingen tussen dag en nacht en tussen enkele opeenvolgende dagen zijn in het nederlandse klimaat wel ekstreem. Gelukkig kennen we ook perioden waar de temperatuur tijdens een week slechts enkele graden verandert.

4. ATMOSFERISCHE STORINGEN.

Voordat de radiostraling de teleskopen bereikt moet een weg door de atmosfeer afgelegd worden. Hierbij wordt eerst de ionosfeer gepasseerd. Door de aanwezigheid daar van vrije geladen deeltjes en het aardmagnetische veld, treedt de zg. Faraday rotatie van de polarisatie richting op. Door gebruik te maken van een model en van kwantitatieve gegevens over de elektronen dichtheid zoals deze door het KNMI verstrekt worden kunnen de polarisatie metingen gekorrigeerd worden. Aangezien het Faraday rotatie effekt evenredig is met het kwadraat van de golflengte is deze korrektie procedure noodzakelijk op 49 cm waarneem golflengte, in sommige gevallen gewenst op 21 cm en overbodig op 6 cm. Naast dit effekt dat werkzaam is op de beide signaalpaden van de interferometer komen er uiteraard ook inhomogeniteiten in de ionosfeer voor die aanleiding geven tot faseverschuivingen. Het onderste gedeelte van de atmosfeer, de troposfeer, vertoont absorptie, emissie en breking van straling. De effektieve hoogte van de luchtlaag is ca. 8 km en daarin is de zuurstof de komponent die in het mikrogolf gebied verantwoordelijk is voor de absorptie van ca. 0,4 % in Zenith richting. Kijken we naar objekten die dichter bij de horizon staan, dan kijken we door een effektief dichtere laag lucht en kan de absorptie wel tot 6 % toenemen. De tweede komponent die een belangrijke bijdrage levert is de waterdamp welke zich tot een effektieve hoogte van ca. 2 km uitstrekt. Afhankelijk van de absolute vochtigheid treedt een absorptie in Zenith richting op van 0,2 - 0,3 %. Samenhangend met de absorptie vindt er ook emissie plaats eveneens evenredig met de hoeveelheid lucht en waterdamp in de gerichtslijn. In vertikale richting kijkend vinden we een bijdrage van 4 K die de effektieve systeem temperatuur verhoogt. Gelukkig hebben interferometer waarnemingen buiten deze gevoeligheidsverlaging weinig last van de atmosferische emissie, daar de effektieve bundels waardoor

de teleskopen kijken binnen de afstand van ca. 8 km nauwelijks overlap hebben. In die gevallen waar wel overlap plaats vindt bevindt zich echter geen struktuur die voor het spatiële filter dat de interferometer vormt, zichtbaar is.

Het belangrijkste atmosferische effekt is de straalbreking die optreedt ten gevolge van de vertikale dichtheidsgradient. Deze refraktie is in eerste benadering evenredig met de tangens van de hoek tussen vertikaal en waarneemrichting. Voor een teleskoop betekent dit een verplaatsing van 1 bgmin. voor een bron die 45° boven de horizon staat. Voor een interferometer treedt dit effekt in beide teleskopen op en valt dus weg. Door de aardkromming is dit wegvallen niet volledig en resteert een residu dat evenredig is met de lengte van de basislijn en bij 1500 m ca. 1 bgsek. bedraagt. Ook hier speelt de waterdamp een belangrijke rol en geeft een bijdrage aan de diëlektrische konstante variërend van 10 tot 30 % van de luchtkomponent, afhankelijk van de absolute vochtigheid. Inhomogeniteiten geven een teleskoop refraktie bijdragen van ca. 1 bgsek. en afhankelijk van hun schaal grootte in verhouding tot de basislijn lengte een overeenkomstige bijdrage in de interferometer. Bij de bekende atmosferische verschijnselen zoals mist, regen, sneeuw en bewolking, komt water niet in dampvorm voor, maar in vaste en vloeibare vorm met variërende deeltjes grootte. Deze vorm van water aanwezigheid heeft nauwelijks invloed op de elektrische lengte en dus de positie nauwkeurigheid van interferometrische waargenomen radiobronnen, maar wel op de absorptie. Zo worden waarnemingen op 6 cm golflengte praktisch onmogelijk bij zware sneeuwbuien en het overtrekken van zware sneeuwwolken.

5. RESULTATEN NA FOURIER TRANSFORMATIE.

In de voorgaande paragrafen is aangegeven dat met een interferometer de positie van een objekt is te bepalen, en dat de nauwkeurigheid waarmee dat kan gebeuren bepaald wordt door de elektrische lengte stabiliteit. In andere bijdragen in deze serie is aangegeven dat met behulp van een interferometer een spatiële fourier komponent van de twee dimensionale helderheisverdeling aan de hemel bepaald wordt. Als we de waar te nemen helderheidsverdeling beschrijven in een polair koördinaten rooster, dan maken we met een rij interferometers een één dimensionale doorsnede. De synhtese radioteleskoop te Westerbork werkt met 40 simultane basislijnen in een oost-west richting. Deze basislijnen hebben een regelmatig increment, zodat de helderheidsverdeling op een aantal punten bemonsterd wordt. Na fourier transformatie leidt dit tot een zich herhalend grating patroon waarvan de herhalings frekwentie evenredig is met het sampling increment, dat dus de grootte van het waar te nemen veld bepaalt. Daar de teleskopen van 25 m diameter door de toegepaste feed belichting een effektieve diameter hebben van ca. 18 m. en een daarmee korresponderende primaire bundel diameter van 0°5 op 21 cm golflengte, is een kleinste toe te passen sampling increment van 18 m voldoende. De maximale basislijn bepaalt de resolutie die bij 1,5 km op 21 cm golflengte ca. 1/3 bgmin. bedraagt. Door de aardrotatie verandert de richting van de geprojekteerde basislijn op het hemelobjekt zodanig dat in 12 uur deze richting ook 180° verdraait. Daarmee hebben we dan een groot aantal één dimensionale doorsneden in alle richtingen verkregen waarmee een tweedimensionale helderheidsverdeling gesynthetiseerd kan worden. Voorwaarde hiervoor is dat de struktuur van het hemelobjekt tijdens de synthese periode niet verandert. Deze periode beslaat de totale tijd waarin alle basislijnen, vaak bij gedeelten tegelijk, worden waargenomen. We zien dus dat de interferometer monsters ook op een polair koördinaten rooster liggen, waarvan de spaken de basislijn afstanden vormen en de hoek bepaald wordt door het moment van waarneming. Dit betekent dat na fourier transformatie een polaire struktuur ontstaat waarbij interferometer fouten, zowel in fase als amplitude, op ringen rond het objekt liggen. De herhalingsafstand van het ringvormige fouten patroon is omgekeerd evenredig met de basislijn afstand en de plaats op de ring korrespondeert met het moment van de verstoring. Zodoende is uit de vorm van het verstoringspatroon de teleskoop met verstoring af te leiden. Het verstoringspatroon is evenredig met en koncentrisch om de gesynthetiseerde objekten. Zijn er in een veld een aantal sterke puntvormige objekten dan bevat de gesynthetiseerde kaart even zovele verstoringspatronen. Op die punten waar een storingspatroon in de kaart aanwezig is, wordt een daar aanwezig zwak objekt gemaskeerd. In een veld met zwakke en sterke objekten, wordt het zwakst waarneembare objekt dus niet door de detektie gevoeligheid bepaald, maar door de stabiliteit van alle interferometers. De verhouding tussen sterkst en zwakst waarneembaar objekt noemen we dynamisch bereik. Uit eksperimenten met een elektronisch kalibratie systeem kon afgeleid worden dat onder normale omstandigheden instrumentele fouten in de orde van 1 % amplitude en fase optreden met een tijdschaal van uren en atmosferische verstoringen in de orde van 0,3 % met tijdschalen variërend van enkele minuten tot vele uren.

6. BESTRIJDINGSMOGELIJKHEDEN.

Wat betreft voorkoming en opheffing van verstoringen zijn er globale en individuele maatregelen. Van de eerste noemen we de symmetrische opbouw van het gehele instrument en van de laatste zullen we een overzicht geven in dezelfde volgorde waarin de kritische komponenten zijn behandeld.

De teleskopen hebben een aantal stabiele en reproduceerbare effekten. Om de effektieve richtnauwkeurigheid

op te voeren wordt niet alleen een volgbeweging gelijk aan de aardrotatie snelheid gebruikt maar krijgen alle teleskoop assen individuele bijstuur korrekties aan de hand van voor elke teleskoop afzonderlijk bepaalde korrektietabellen. Voor de thermische uitzetting kan gekorrigeerd worden door gebruik te maken van een model en de geregistreerde omgevings temperatuur. Voor een konkrete toepassing is een verfijning nodig waarin rekening gehouden moet worden met temperatuur verschillen ten gevolge van gedeeltelijke bestraling door de zon.

De ontvangers zijn door zorgvuldige bouw en gethermostreerde opstelling voldoende stabiel te krijgen. De eigen ruis van de ontvangers is een stabiele grootheid, de effektieve systeem temperatuur niet, ten gevolge van de veranderlijke bijdrage van de atmosferische emissie. Om dit effekt te meten en daarvoor te korrigeren, wordt aan de ingang van de parametrische voorversterkers periodiek een signaal uit een konstante ruisbron geïnjekteerd waarmee zowel de totale versterking als systeem temperatuur van elke interferometer arm afzonderlijke bepaald kan worden.

De lokale oscillator kabels vormen de grootste bron van fase fouten. In principe kunnen de effekten bepaald worden door de elektrische lengte te meten, bijvoorbeeld met behulp van reflektie meting. Van dit principe is gebruik gemaakt in het fasekalibratie systeem dat op een frekwentie van 1415 MHz werkt. Een andere methode kan gevolgd worden als de temperatuur koëfficiënt bepaald is en stabiliteit daarvan aangenomen mag worden. Uit de buiten temperatuur is dan een korrektie af te leiden.

De atmosfeer heeft een variërende bijdrage waarvan de lange tijdschaal variaties voornamelijk door de hoeveelheid waterdamp in de gezichtslijn veroorzaakt worden. Een direkte bepaling hiervan is mogelijk uit de emissie sterkte van bepaalde infrarood lijnen. Een meer indirekte methode is het meten van de absolute vochtigheid ter plaatse van het waarneemstation.

Een globale methode wordt gevormd door de kalibratie procedure. Hierbij worden puntvormige bronnen genomen die hun waarneemvelden voldoende sterk domineren en waarvan positie en sterkte nauwkeurig bekend zijn. Door tussen de normale waarnemingen door regelmatig naar deze kalibratie bronnen te kijken, kan het instrument geijkt worden. De frekwentie waarmee deze kalibratoren waargenomen worden is afhankelijk van de tijdschaal waarmee uit te kalibreren storingen optreden. Doorgaans wordt met ca. drie kalibratoren per dag volstaan, uitgaande van een tijdschaal voor instrumentele fasedriften van dagen. Voor speciale waarnemingen wordt wel een schakelmode toegepast waarbij elke 10 minuten ca. 5 minuten naar een kalibratiebron, vlak in de buurt van het waar te nemen objekt wordt gekeken. Hiermee kunnen ook atmosferische verstoringen met een tijdschaal van een kwartier goed geëlimineerd worden. Naast deze kalibratie methode waarbij stabiliteit ondersteld wordt over de periode tussen twee kalibratie waarnemingen hebben we de globale methodes van redundante basislijnen en zelfkalibratie. Hierbij worden de ontvangen signalen zelf gebruikt om verstoringen te bepalen en te korrigeren.

Om het redundante principe te illustreren behandelen we het voorbeeld uit figuur 2.

We hebben hier een konfiguratie bestaande uit drie teleskopen en drie interferometers waarin de teleskoop fasefouten ψ betrekking hebben op alle verstoringen in de desbetreffende arm. De waargenomen interferometer fase φ bestaat uit de intrinsieke hemelbron fase ϕ en een verschil van twee teleskoop fases. Uit de formule in de figuur is duidelijk dat het mogelijk is een "ringfase" te bepalen die vrij is van instrumentale en atmosferische verstoringen. Helaas is de "ringfase" een bron parameter waar we niet al te veel aan hebben bij het maken van een kaart. Wel kunnen we op deze manier met behulp van een beperkt aantal aannamen over de statistische eigenschappen van de verschillende fouten een scheiding maken tussen relevante bron parameters en instrumentele fouten.

Adaptief filtreren is een vorm van zelf kalibratie, waarbij in het waargenomen veld een dominante puntbron staat. Dat zo'n puntbron aanwezig is kan bijvoorbeel bepaald worden uit interferometer waarnemingen op veel langere basislijnen dan 1,5 km. Voor deze interferometers is fase stabiliteit geen grote eis omdat alleen de vraag beantwoord moet worden of in het veld een bron aanwezig is die voldoende puntvormig is voor een 1,5 km systeem. Meestal kan deze vraag al bantwoord worden op grond van uitsluitend amplitude informatie van een lange basislijn interferometer. Het adaptief filtreren bestaat hieruit dat voor elke interferometer een korrektie bepaald wordt tegenover een gewogen gemiddelde van alle interferometer responsies op een bepaald moment. De weegfunktie wordt bepaald door de plaats en de sterkte van de puntbron in het veld. Deze methode is te vergelijken met het redundantie principe in de kommunikatie techniek waarbij aan een voor de ontvanger onbekende boodschap een bekend deel is toegevoegd.

7. EXTERNE STORINGEN.

Signalen van buitenaf die een responsie veroorzaken van de interferometer korrelatoren, vormen een probleem van beperkte omvang zolang er geen verzadigingseffekten ergens in het systeem optreden. De synthese teleskoop is nl. een beeldvormend instrument dat de gehele hemel afbeeldt. Doordat de reflektor antennes op een bepaald punt gericht staan worden de signalen uit die richting versterkt doorgegeven, maar andere punten aan de hemel, die via zijlussen binnenkomen kunnen toch zonder meer in kaart gebracht worden. Aardse stoorsignalen staan t.o.v. de interferometer stil, evenals de noordpool. Dit wil zeggen dat

aardse storingsbronnen in een kaart van de gehele hemel op de noordpool terecht komen. Verstoring van het gewenste objekt treedt nu op door de de grating responsies van deze noordpool bron. Aangezien over de struktuur van de effektieve "storingspoolbron" niet veel bekend is, kan met methoden verwant aan het adaptief filter wel enige maar geen volledige verbetering verkregen worden. Als voorbeeld van ernstige storingsbronnen kunnen de TV zenders in de kanalen 37 en 39 genoemd worden. De 49 cm waarneemband voor de radioastronomie valt nl. in kanaal 38, en hierin vallen ook de onderdrukte zijband van kanaal 39 en de om het geluid gespiegelde band van kanaal 37. Voor TV zenders onderling zijn deze signalen zo zwak dat van hinder geen sprake is, maar in Westerbork was de storing van deze zenders die ca. 120 km ver weg liggen nog van zodanige aard dat zonder ekstra zorg aan de zenderzijde en bij gunstige propagatie kondities verzadigingseffekten in de korrelatoren optraden. Inmiddels is door inbouw van ekstra filters in de TV zendantennes de storing tot een aanvaardbaar niveau teruggebracht.

Een tweede belangrijke storingsbron zijn de radars en aanverwante apparatuur in de L-band. Op de waarneemfrekwentie rond 1415 MHz wordt regelmatig strooistraling van radarapparatuur waargenomen. Deze is zowel afkomstig van vaste aardse bronnen als van vliegtuigen. In dit laatste geval kan door de doppler verschuiving van de signalen die door de twee teleskopen van een interferometer ontvangen worden niet alleen de richting maar ook de snelheid van het storende objekt bepaald worden, welke identifikatie storing in de toekomst kan helpen voorkomen.

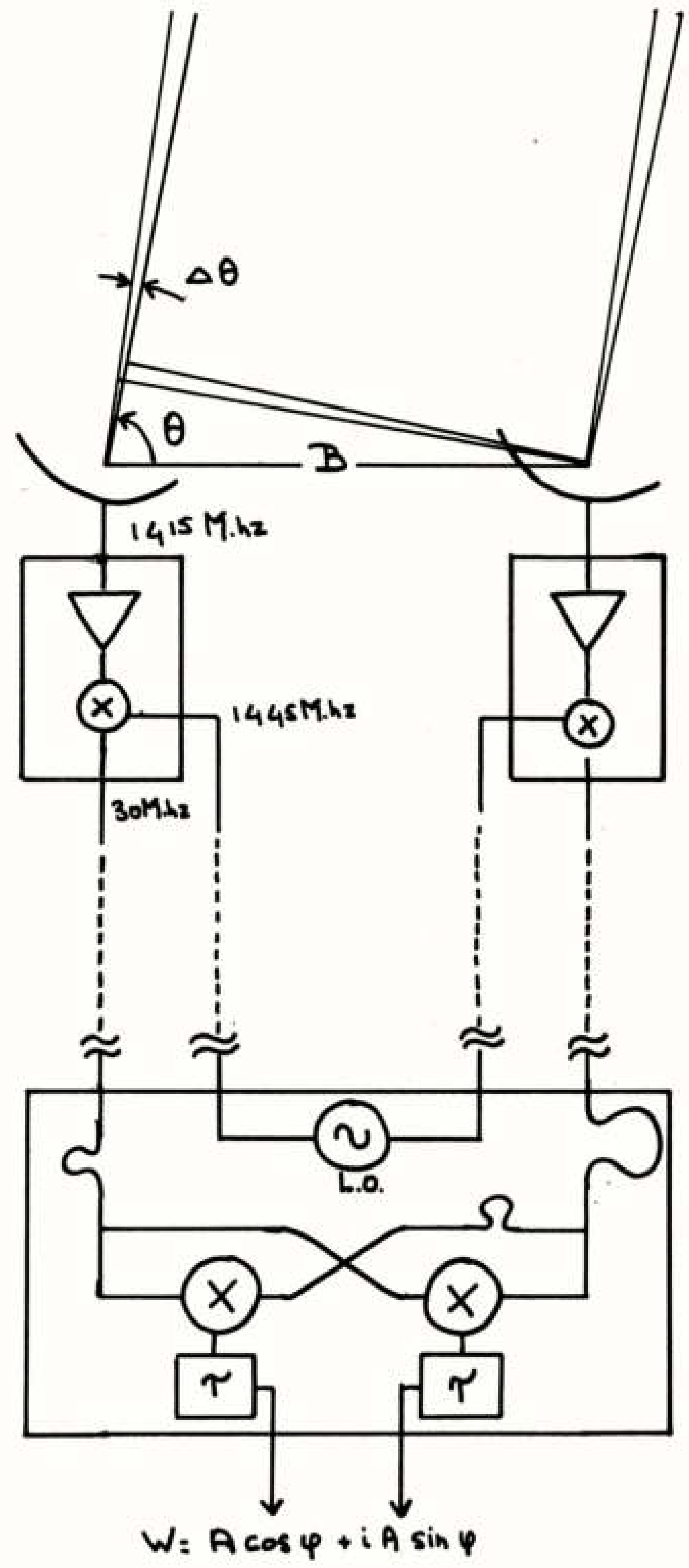


Fig. 1. De interferometer.

8. ALGEMENE KONKLUSIES.

Afhankelijk van de signaal ruis verhouding en het gewenste dynamisch bereik zijn er verschillende mogelijkheden. Er bestaat niet zoiets als een enkele mogelijkheid die alle problemen in alle omstandigheden oplost en we zullen toegaan naar een kombinatie van:

a) Redundante basislijnen en gedeeltelijke elektronische kalibratie waardoor slechts beperkte statistische aannamen noodzakelijk zijn;
b) Aangevuld met adaptief filtcren waarvoor dan ook slechts zeer beperkte aannamen over bepaalde strukturen nodig zijn.

Realisering van genoemde oplossingen vergt omvangrijke gegevens bewerking zowel op korrelator gegevens als op de gevonden helderheidsverdeling na fourier transformatie. Vooral de iteratieve bewerkingen tussen beide soorten gegevens lijken veelbelovend, maar een procedure die in een beperkte tijd resultaten levert heeft wel een snelle tweedimensionale fourier transformator nodig.

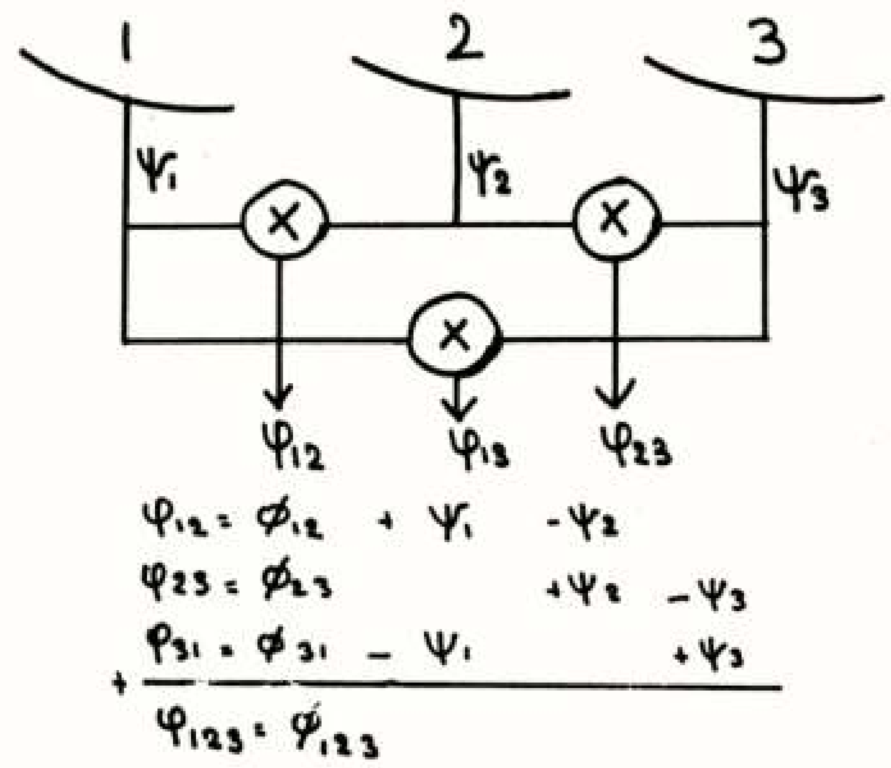


Fig.2. Redundante basislijnen.

Voordracht gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section-IEEE.

ANALOGE TECHNIEKEN VOOR HET UITVOEREN VAN DE TWEEDIMENSIONALE FOURIER TRANSFORMATIE

Drs. J.P. Hamaker
Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg

1. INLEIDING.

De tweedimensionale fourier transformatie is een essentiëel onderdeel van de techniek van de apertuur-synthese. Zij vormt de schakel tussen de komplexe zichtbaarheidsfunktie Z(u,v), die wij d.m.v. interferometers kunnen waarnemen, en de gezochte reële afbeelding van een stukje hemel, de kaart K (x,y).

Het punt, waarop een interferometer de funktie Z in het uv-vlak bemonstert, wordt gegeven door de verbindingslijn tussen de beide interferometer-elementen, de basislijn-vector. In de aardrotatie-synthese beschrijft de basislijn van elke interferometer in de loop van 12 uren een halve cirkel in het uv-vlak. Voor een systeem van simultane Oost-West interferometers zoals de SRT liggen de gelijktijdig bemonsterde punten langs een straal in dat vlak. We zien dus dat Z(u,v) bemonsterd wordt op een poolkoördinaten-rooster. Voor de kaart geven we daarentegen de voorkeur aan een Cartesisch rooster. Dit hangt samen met het feit dat randapparaten zoals plotters en oscillografen altijd in Cartesische koördinaten gestuurd worden.

Onze fourier transformator moet dus een polair bemonsterd ingangssignaal aksepteren en een Cartesisch bemonsterd uitgangssignaal afleveren. Voor een "volledige synthese" hebben we in het uv-vlak 80 cirkels, eens per 30 sek. bemonsterd, oftewel 115200 punten. Voor de kaart is een afmeting van 512x512 punten = 262144 punten gebruikelijk. Met gebruikmaking van het Fast Fourier Transform algorithme is het benodigde aantal komplexe vermenigvuldigingen en optellingen ca. 10^7 per kaart. Voor waarnemingen in meerdere polarisatie- en/of frekwentie kanalen tegelijk moeten evenzovele kaarten gemaakt worden.

Inspektie van de in eerste instantie verkregen kaarten geeft veelal aanleiding tot het aanbrengen van korrekties op de gemeten zichtbaarheden, of tot het kiezen van andere stuurparameters voor de fourier transformatie. Waarnemingen moeten dus vaak meer dan eenmaal verwerkt worden voordat de waarnemer met het resultaat tevreden is. Alleen in het definitieve produkt heeft hij behoefte aan de volle nauwkeurigheid die een digitale machine kan verschaffen. In de eerste, verkennende fasen is een kwalitatief korrekte kaart voldoende.Dit maakt het mogelijk, analoge transformatie-methoden te overwegen. In eerste instantie kan daardoor de computer een stuk worden ontlast. Een analoge fourier transformatie kan bovendien veel sneller werken; daarmee worden vormen van interaktieve gegevensverwerking mogelijk, die nu praktisch onuitvoerbaar zijn.

De plaats, die de analoge fourier transformator in het geheel van de gegevens verwerking zou kunnen innemen, is aangegeven in fig. 1. In dit artikel zal ik enkele mogelijke realisaties van analoge transformatoren bespreken. Een scala van andere mogelijkheden wordt besproken in een recent intern rapport van onze Stichting (Cole, 1976).

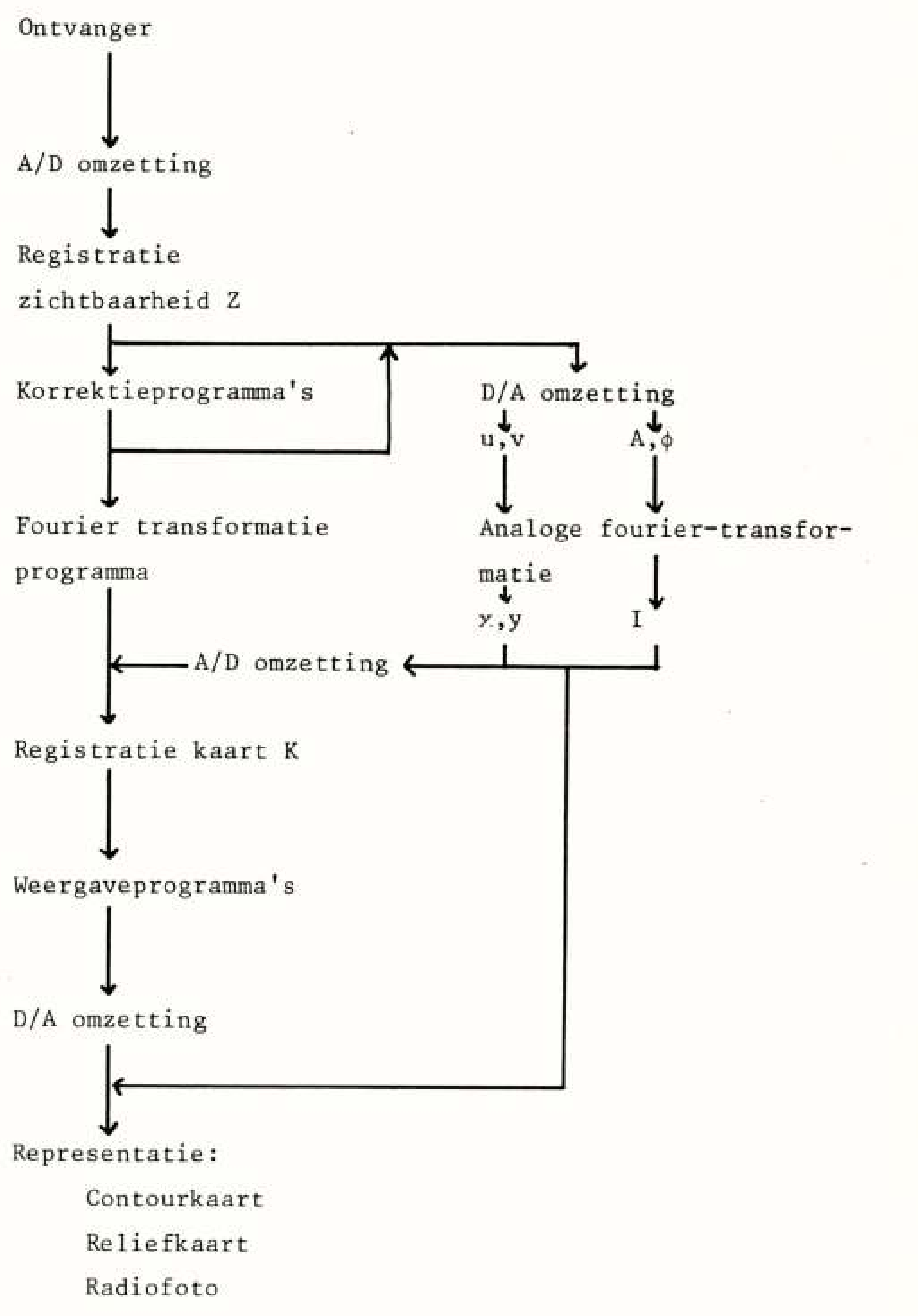


Fig. 1. Schematisch overzicht van gegevens verwerking voor de SRT, en de plaats die daarin voorzien is voor de analoge fourier transformator. De transformator wordt vanuit de computer bestuurd en van gegevens voorzien. De resultaten kunnen aan de computer teruggegeven worden of direkt zichtbaar gemaakt.

2. DE LENS ALS FOURIER TRANSFORMATOR.

De natuur verschaft ons een direkt analogon voor de tweedimensionale fourier transformatie, dat is weergegeven in fig. 2. De lens wordt belicht door een koherente vlakke golf. Met weglating van de frekwentieterm exp $(i\omega t)$ en de polarisatie richting worden de elektrische veldverdelingen in de voorste en achterste brandvlakken beschreven door tweedimensionale komplexe funkties. Plaatsen we in het voorvlak een masker met een klein gaatje op de positie (u,v) dan wordt het door dat gaatje doorgelaten licht door de lens omgezet in een scheef uittredende evenwijdige bundel. Het is gemakkelijk na te gaan dat deze (afgezien van schaalfaktoren) in het achterste brandvlak (het "beeldvlak") een veldverdeling oplevert van de gedaante

$$\exp 2 \pi i (u x + v y). \tag{1}$$

We herkennen dit als de uitdrukking die een vlakke golf in het x y-vlak beschrijft met golfvektor $2 \pi (u,v)$. Hebben we meerdere gaatjes, elk met een eigen transmissiefaktor $Z(u_i,v_i)$ dan vinden we in het beeldvlak een superpositie van de bijbehorende vlakke golven. Een kontinue verdeling Z(u,v) tenslotte kan opgevat worden als een aaneengesoten verzameling gaatjes, die in het beeldvlak de fourier integraal

$$K(x,y) = \iint dudv\, Z(u,v) \exp 2 \pi i (u x + v y) \tag{2}$$

oplevert.

Op weg naar de toepassing van dit elegante analogon liggen helaas twee formidabele barrières. Wij zullen deze nu vluchtig verkennen.

3. HET MODULEREN VAN DE LICHTBUNDEL.

De invallende koherente lichtbundel moet met de zichtbaarheidsfunktie Z(u,v) gemoduleerd worden. Daar Z komplex is, betekent dit een modulatie zowel in amplitude als in fase. Konventionele modulatoren geven een modulatie in amplitude (fotografisch negatief) ofwel in fase (gebleekt negatief, eidophoorbuis), maar niet in beide tegelijk.

Een voor de hand liggende oplossing ligt in het afzonderlijk transformeren van de reële en imaginaire delen van Z(u,v). We krijgen dan respektievelijk de beelden

$$\text{Re } Z(u,v) \xrightarrow{\text{F.T.}} K(x,y) + K(-x,-y)$$
$$\text{Im } Z(u,v) \xrightarrow{\text{F.T.}} K(x,y) - K(-x,-y)$$

waaruit K door optelling volgt. Het korrekte eindresultaat wordt verkregen door de beide termen K (-x,-y) tegen elkaar te laten wegvallen. Dit betekent dat de methode zeer kritisch afhangt van de nauwkeurigheid waarmee de beide deeltransformaties onderling gealigneerd kunnen worden. Een kleine verplaatsing van b.v. een van de modulatornegatieven leidt gemakkelijk tot een hinderlijke rest van K (-x,-y) in de kaart.

Een heel andere oplossing wordt ons aan de hand gedaan door de techniek van de holografie. In plaats van de komplexe funktie

$$Z(u,v) = A(u,v) \exp i \phi (u,v)$$

wordt de daarvan afgeleide reële modulatie funktie

$$\begin{aligned} Y(u,v) &= A_o + \text{Re}\,(Z(u,v) \exp iku) = \\ &= A_o + A(u,v) \cos (\phi (u,v) + ku) \end{aligned} \tag{3}$$

gebruikt. A_o is een konstante die zo gekozen wordt dt $Y \geq 0$, zodat een gewoon fotografisch negatief als modulator kan dienen. De term exp iku is het analogon van een draaggolf in de elektronika, en we spreken dan ook van een ruimtelijke draaggolf. Wat er gebeurt als we een dergelijk hologram in onze lens-transformator zetten is aangegeven in fig. 3. In plaats van één beeld op de optische as vinden we nu twee beelden aan weerszijden, overeenkomend met K (x,y) en K (-x,-y). (De lezer kan dit gemakkelijk verifiëren door (3) te ontbinden in toegevoegd komplexe delen en vervolgens de verschuivingsregel voor de fourier transformatie toe te passen).

Het koderingsvoorschrift (3) konverteert fase informatie in positie informatie. De holografische methode vereist dus eveneens een zeer hoge geometrische precisie bij het maken van het modulatornegatief.

Een serieuze ontwerpstudie voor een holografische fourier transformator wordt op het ogenblik in de V.S. uitgevoerd t.b.v. de "Very Large Array", een gigantische nieuwe synthese teleskoop. De specifikaties (o.m. positienauwkeurigheden in de orde van 10^{-5} van de negatief grootte) liggen één à twee grootte-orden hoger dan wat in de holografie tot nu toe gebruikelijk is. Het is dan ook zeer wel mogelijk dat men uiteindelijk voor "konventionele" digitale gegevensverwerking zal kiezen.

4. DETEKTIE VAN HET KAARTBEELD.

Wij zagen dat de elektrische veldsterkte E in het beeldvlak verdeeld is volgens de reële kaartfunktie K (x,y). Ons oog en elke andere detektor is gevoelig voor de intensiteit $I(x,y) = (E(x,y))^2$. We kunnen K dus niet rechtstreeks zien of uitlezen.

Eén mogelijkheid om hier iets aan te doen is het toevoegen van een achtergrondveld. We kunnen dit doen door het bijmengen van een referentiebundel die buiten de fourier transformator om van de lichtbron naar het

beeldvlak wordt geleid (fig. 4). We meten dan

$$I\ (x,y) = (E_o + E\ (x,y))^2 = \\ = E_o^2 + 2E_oE\ (x,y) + (E\ (x,y))^2. \qquad (4)$$

Opdat de variaties in I in goede benadering evenredig zijn met E moet $E_o >> E$. We krijgen dus een sterk verminderd kontrast; details in de kaart gaan voor direkte visuele waarneming verloren en we zijn aangewezen op elektronische uitlezing.

Zijn we eenmaal zover, dan kunnen we het vertrouwde elektronische middel van synchrone modulatie en detektie toepassen om de kwadratische termen in (4) kwijt te raken. Als modulator dient in dit geval een 180° faseschakelaar in de referentie bundel, terwijl de synchrone detektie bestaat uit het (elektronisch) aftrekken van twee achtereenvolgens uitgelezen beelden. Een dergelijk systeem zou in de reeds genoemde VLA-processor gebruikt worden.

5. DE PROEF VAN YOUNG.

De beschreven problemen bij het toepassen van de lenstransformatie geven gerede aanleiding, naar een aantrekkelijker analogon om te zien. We keren daartoe terug naar de fourier integraal (2) en zijn interpretatie als een superpositie van vlakke golven (1). We hebben met een reële kaart te maken en kunnen de uitdrukking voor de samenstellende golven daardoor nog wat verder uitwerken:

$$\mathrm{Re}\ Z(u,v)\ \exp\ 2\ \pi\ i\ (u\ x + v\ y) = \\ = \mathrm{Re}\ A\ (u,v)\ \exp\ i\ \{\phi\ (u,v) + 2\ \pi\ (u\ x + v\ y)\} = \\ = A\ (u,v)\ \cos\ \{2\ \pi\ (u\ x + v\ y) + \phi\ (u,v)\} \qquad (5)$$

De lens genereert al deze golven in één keer. In plaats daarvan kunnen we overwegen ze één voor één te maken, en de integratie (2) letterlijk uit te voeren.

De klassieke proef, waarmee Young het golfkarakter van het licht demonstreerde, levert ons de gezochte vlakke golf generator. De proef is weergegeven in fig. 5. Het licht dat door de beide gaatjes wordt doorgelaten, geeft door interferentie op het scherm een reeks lichte en donkere strepen. De intensiteitsverdeling wordt (in eerste benadering en met weglating van schaalfaktoren) gegeven door

$$I\ (x,y) = 1 + \cos\ 2\ \pi\ u'x' = \\ = 1 + \cos\ 2\ \pi\ (u\ x + v\ y) \qquad (6)$$

Afgezien van de offset term (die achteraf makkelijk te verwijderen is) is dit precies de gewenste vlakke golf. Door het aanbrengen van een optische transmissiefaktor A en faseverschuiving ϕ voor één van de gaatjes kunnen we de cosinusterm in (6) precies de gedaante (5) laten aannemen.

Aangezien (6) een intensiteit voorstelt kunnen we hem rechtstreeks detekteren en de funkties I (x,y) voor achtereenvolgende waarde van (u,v) integreren. Deze bewerkingen kunnen goed door een televisiecamerabuis worden uitgevoerd. De lichtverdeling wordt door het beeldscherm omgezet in een evenredige verandering van de ladingsverdeling. Voor achtereenvolgende (u,v)-waarden worden deze veranderingen geïntegreerd en tenslotte lezen we de resulterende verdeling uit. Ik laat de gedetailleerde uitwerking verder aan de fantasie van de lezer over.

Deze methode heeft twee belangrijke voordelen t.o.v. de lens-transformator. Het modulatieproces is vereenvoudigd doordat we slechts één punt in het uv-vlak gelijktijdig hoeven te moduleren. Daartegenover staat wel het nadeel dat we de punten achtereenvolgens moeten afwerken door mechanische verplaatsing van de gaatjes t.o.v. elkaar, wat tijd kost. Het tweede voordeel is, dat de analoge uitgangsgrootheid, I, direkt zonder verdere kunstgrepen detekteerbaar is.

6. ELEKTRONISCHE NABOOTSING VAN DE PROEF VAN YOUNG.

De tot nu toe besproken methoden maken gebruik van interferentie verschijnselen in koherent licht. Voor radiosterrenkundige laboratoria is dit een nadeel. De technieken van de koherente optika zijn wezensvreemd aan de bij ons voorhanden specialistische kennis en apparatuur. Een geheel elektronische oplossing is daarom veel aantrekkelijker.

We gaan uit van de zojuist beschreven methode op basis van de proef van Young. We handhaven het beeldscherm, maar vervangen het koherente licht door een elektronen straal. We hebben dan niet langer te maken met een televisiecamerabuis, maar met een beeldgeheugenbuis. Een bekend voorbeeld van een dergelijke buis met een fosforscherm voor direkte visuele uitlezing is de "storage" oscillograafbuis. Voor lineaire beeldintegratie is een andere versie met uitsluitend elektronische uitlezing geschikter, de "scan converter" buis.

We hebben nu niet meer de beschikking over een mechanisme dat langs "natuurlijke" weg vlakke golven produceert. We zullen deze taak dus zelf moeten overnemen m.b.v. een rastergenerator. Een komplikatie is daarbij dat we aan een eenvoudig xy-raster niet genoeg hebben: Het moet ook nog in alle mogelijke verschillende oriëntaties geschreven kunnen worden. Een pluspunt ligt in het feit dat het raster is opgebouwd uit lijnen van konstante intensiteit. De snelheid waarmee gegevens moeten worden toegevoerd is daardoor veel lager dan voor een gewoon T.V. signaal.

We komen zo tot de opzet van fig. 6, die verder voor zichzelf spreekt. De prijs die we voor deze geheel elektronische oplossing betalen, is dat we nu voor elk (uv) punt een volledig raster moeten schrijven. Voor N interferometers en M oriëntaties hebben we N.M. rasters en de

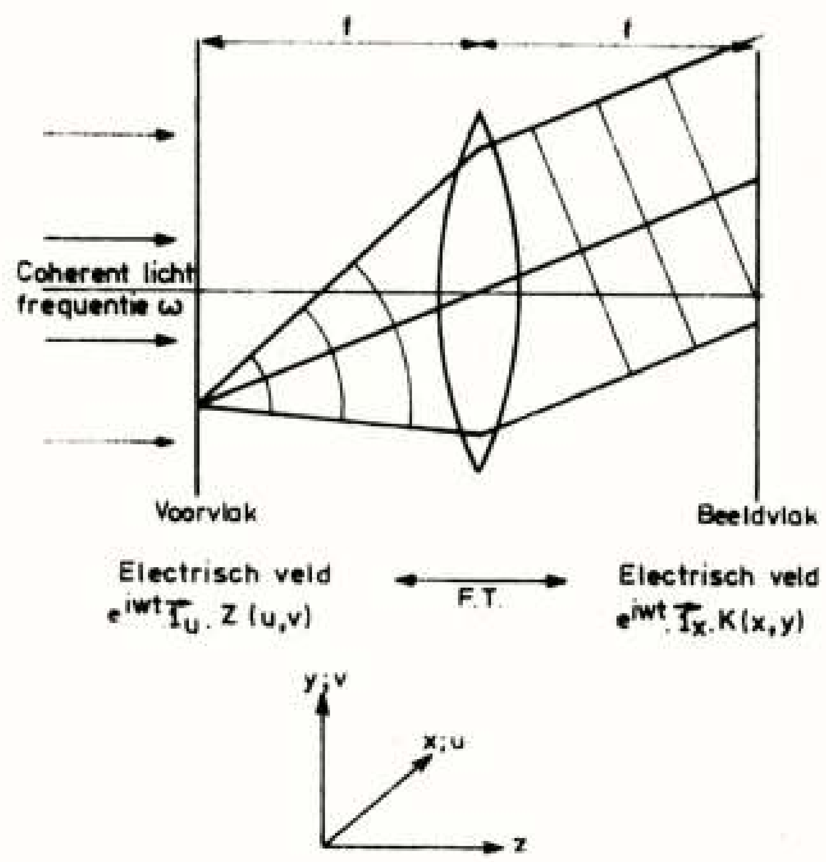


Fig. 2 De lens als tweedimensionale Fourier-transformator

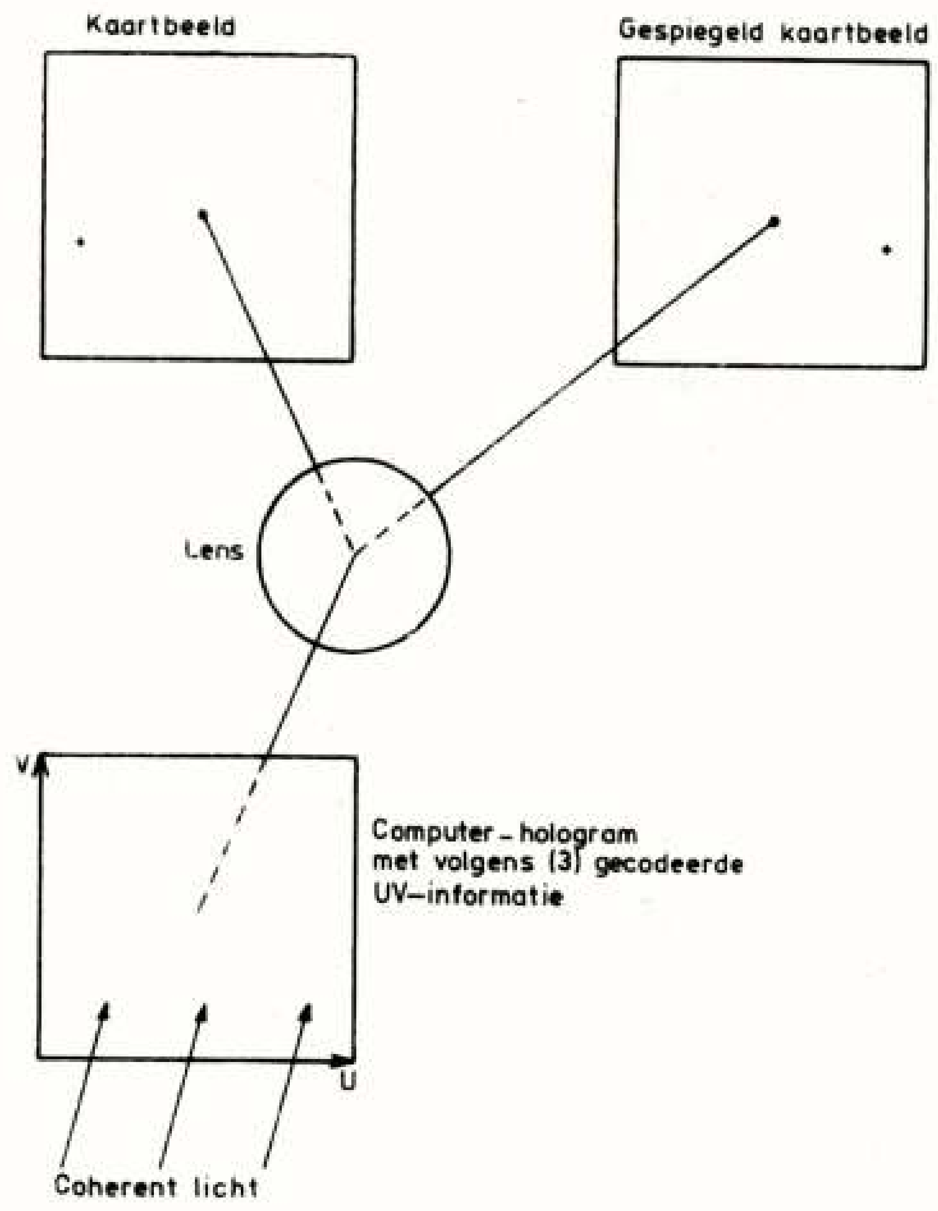


Fig. 3 Holografische Fourier transformatie

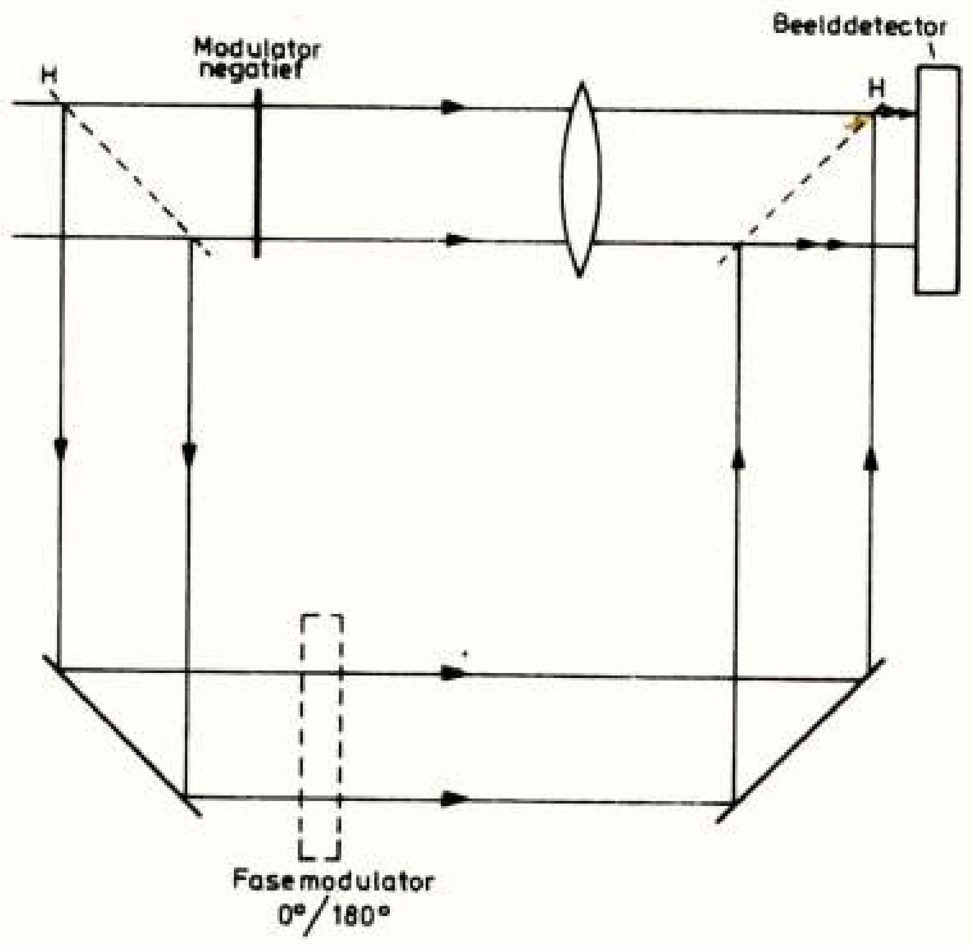
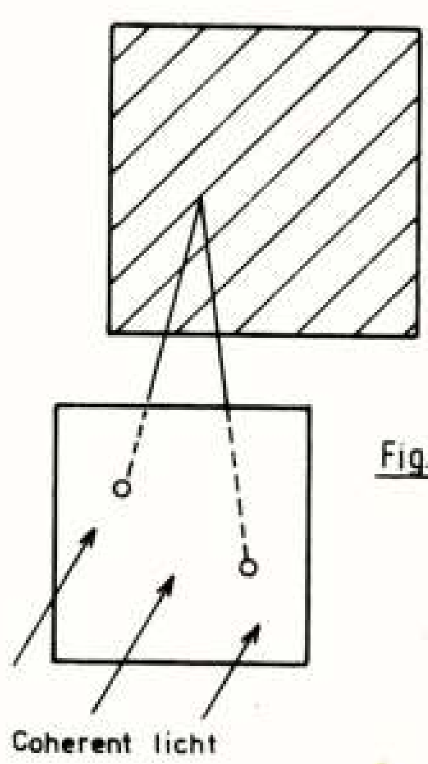


Fig. 4 Gebruik van een referentiebundel om de veldsterkteverdeling K(x,y) te detecteren

H: halfdoorlatende spiegels



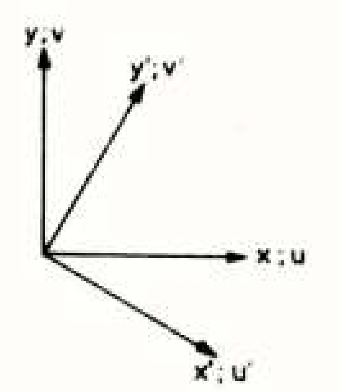


Fig. 5 De proef van Young
Door interferentie van het licht, dat door de beide gaatjes wordt doorgelaten, ontstaat op het scherm een reeks maxima en minima. De intensiteitsverdeling is onafhankelijk van y', en wordt gegeven door (6)

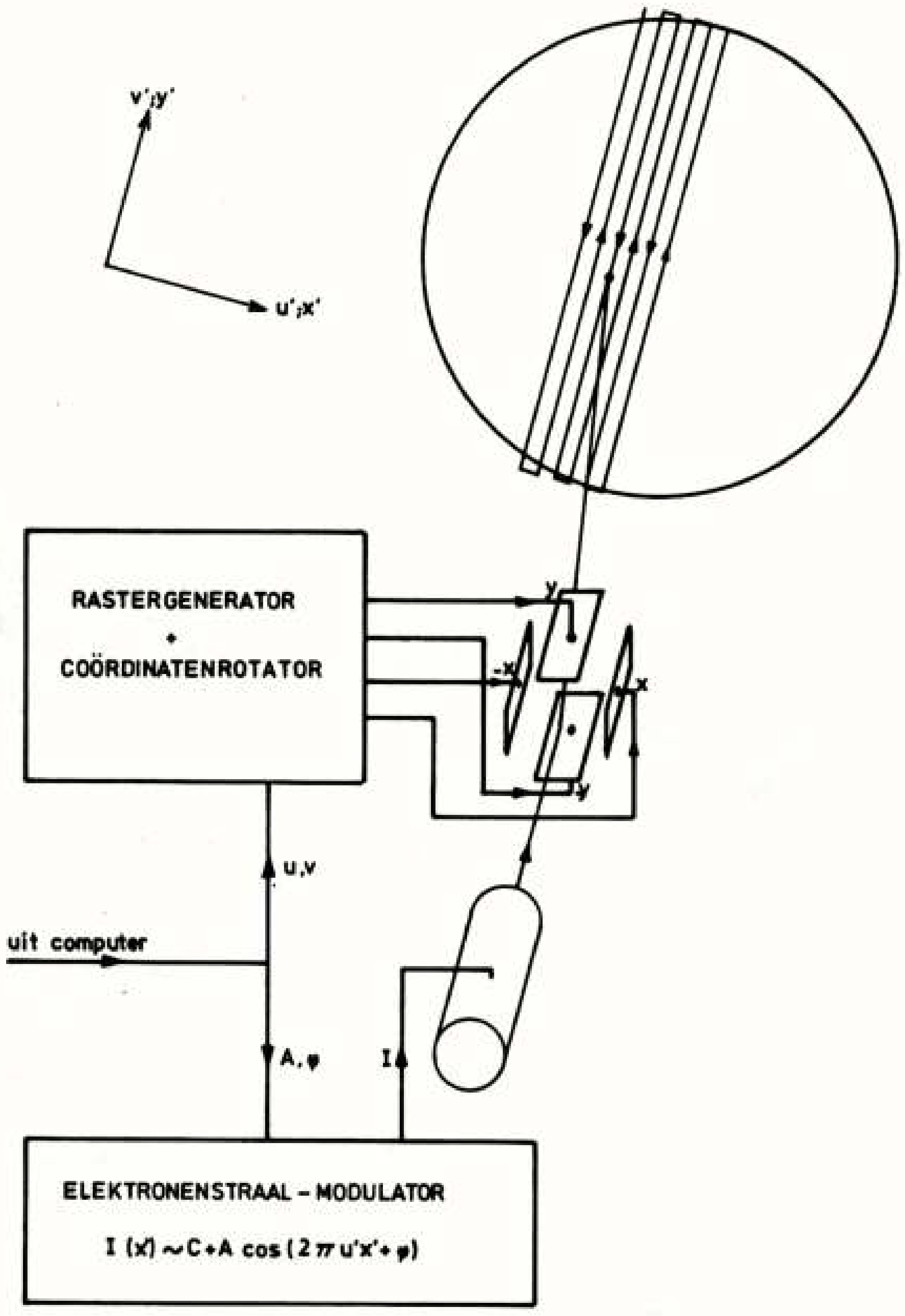


Fig. 6 Imitatie van de interferentiebanden van de proef van Young m.b.v. een kathodestraalbuis. Zie de beschrijving in de tekst.

opbouw van een komplete kaart gaat zo gauw enige minuten kosten. Gelukkig kunnen we van dit verlies nog een flink stuk terugwinnen.

We merken op dat we voor elke oriëntatie N rasters over elkaar moeten tekenen met intensiteiten

$$I_n\ (x') \sim 1 + A_n \cos\ (2\ \pi\ u_n'\ x' + \phi_n),\ n = 1.....N \qquad (7)$$

We kunnen in plaats daarvan de I_n eerst sommeren en dan één raster schrijven met de gesommeerde intensiteit:

$$I\ (x') = C + \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\ (2\ \pi\ u_n'\ x' + \phi_n). \qquad (8)$$

Het aantal rasters is zo gereduceerd tot het aantal oriëntaties, M. Daartegenover staat dat we nu de sommen (8) moeten berekenen. Dit is minder erg dan het lijkt. Schrijven we nl. (8) in een iets andere vorm

$$I\ (x') = C + \mathrm{Re} \sum_{n=1}^{N} A_n \exp\ (i\ \phi_n)\ .\ \exp\ (2\ \pi i u_n'\ x'). \qquad (9)$$

dan herkennen we daarin een ééndimensionale fourier transformatie, die we d.m.v. een Fast Fourier Transform zeer snel kunnen uitvoeren (al dan niet met gebruikmaking van speciale hardware).

Overzien we nu nog eens het hele proces, dan zien we dat we onze tweedimensionale transformatie in twee stappen uitvoeren:

a) Eendimensionale transformaties van de zichtbaarheidsverdelingen die door onze N interferometers gemeten zijn bij M verschillende positie hoeken. Deze stap sluit direkt aan op de vorm en volgorde, waarin we onze meetgegevens in Westerbork beschikbaar hebben. Hij kan zeer snel in digitale hardware worden uitgevoerd.
b) Superpositie van de tweedimensionale intensiteitsverdelingen die door de uitkomsten van stap a) beschreven worden. Deze uitkomsten zijn bemonsterd op de x'y' - roosters die geroteerd zijn t.o.v. ons kaartrooster xy. Voor de overgang naar dit laatste is een interpolatie nodig. Analoge systemen zijn hiertoe bij uitstek geschikt door hun kontinue karakter en eindige resolutie.

We zijn zo gekomen tot een hybride fourier transformator die de gunstige eigenschappen van digitale en analoge technieken op een aantrekkelijke manier kombineert, en bovendien het volle profijt trekt van de eigenaardigheden, die inherent zijn aan de wijze waarop de SRT zijn meetgegevens verzamelt.

APPENDIX: WISKUNDIGE BESCHRIJVING VAN HET TRANSFORMATIE-SUPERPOSITIE PROCEDE.

We gaan uit van de tweedimensionale fourier integraal (2):

$$K\ (x,y) = \iint \mathrm{dudv}\ Z(u,v) \exp 2\ \pi\ i\ (u\ x + v\ y).$$

Door transformatie naar poolkoördinaten

$$x,y \longrightarrow r,\emptyset$$
$$u,v \longrightarrow R,\phi$$

gaat de integraal over in

$$K'\ (r,\emptyset) = \iint R dR d\ \phi\ Z'\ (R,\phi) \exp\ 2\ \pi\ i\ Rr\ \cos\ (\emptyset - \phi).$$

Substitutie van $X = r \cos\ (\emptyset - \phi)$ geeft

$$K'\ (r,\emptyset) = \int d\phi \int dR.\ R\ Z'\ (R,\ \phi) \exp\ 2\ \pi\ i\ RX.$$

De laatste integraal stelt de ééndimensionale transformatie van $R\ Z'\ (R,\ \phi)$ voor. De faktor R in de integrand kompenseert de dichtheidsverdeling van de roosterpunten die evenredig is met $1/R$. X is de projektie van de vektor $(r,\emptyset)$ op de richting ϕ. Langs lijnen loodrecht op deze richting is dus X konstant, en daarmee ook de Fourier integraal. We hebben daarmee precies de beschrijving van de afzonderlijke geroteerde rasterbeelden. Hun superpositie wordt beschreven door de integraal over ϕ.

VERANTWOORDING.

De ideeën voor de toepassing van de proef van Young en de elektronische uitvoering daarvan zijn gelanceerd door T.W. Cole uit Sydney, tijdens een verblijf van een half jaar in Dwingeloo.
De Synthese Radio Teleskoop wordt beheerd door de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg met financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.).

LITERATUUR.

T.W. Cole, "Hybrid Processing of Westerbork Data". Intern rapport ITR 145 van de S.R.Z.M., Radiosterrenwacht, Dwingeloo.

J.W. Goodman, "Introduction to Fourier optics", McGraw Hill, 1968.

Voordracht gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section-IEEE.

SOLVED AND UNSOLVED PUZZLES IN TODAY'S RADIO ASTRONOMY

Dr. R.G. Strom and Dr. D.E. Harris
Netherlands Foundation for Radio Astronomy

Radio astronomy is a very young science, barely 45 years old, whose size and impact have grown dramatically during its short lifetime. It may be instructive to trace, in a pseudo-historical manner, some of the riddles uncovered during the early years of discovery. The first radio astronomer, Karl Jansky of the Bell Telephone Laboratories, stumbled upon radio signals from heavenly objects quite by accident. His main findings were that the strong emission comes from the Milky Way with a maximum in the direction of the center of our Galaxy, and that he could detect no emission from the sun. This latter fact meant that though the most notable visible component of the Milky Way is the emission produced by countless distant stars, their contribution to the radio emission is probably negligible.

The second (and for nearly ten years the only) radio astronomer was the American engineer and radio amateur Grote Reber. In the late 1930's he confirmed Jansky's discovery and showed that the emission was weaker at shorter wavelengths. Jansky himself had suggested that the emission might result from hot gas in the space between the stars, in which case it would be thermal emission and its strength should increase with increasing frequency. The emission discovered, being non-thermal, presented radio astronomy with its first mystery: What causes the radio emission?

Although radio astronomy virtually stood still during the war (emission from the sun was finally detected, however), the various groups engaged in the development of radar produced men who began some of the key radio astronomy observatories once hostilities had ceased. Their research aroused the interest of theoreticians, and it appears that the Swedes Alfvén and Herlofson were the first to suggest that the emission process might be the same as that by which high energy particles moving in the magnetic fields of a synchroton produce electromagnetic radiation. What is "synchroton" emission, and how does it differ from other emission mechanisms?

Electromagnetic radiation can be produced by the acceleration of charged particles. A familiar example is the way the electrons in the metal of a dipole antenna, driven back and forth by an oscillator circuit, produce radio waves at the oscillation frequency. Thermal emission from a hot gas arises because the (lighter and thus faster moving) electrons are deflected by encounters with positive ions, thereby undergoing accelerations. In synchroton emission, the positive ions are replaced by a magnetic field which causes the charged particles to move in curved paths. An important additional factor is that the particles move at relativistic speeds and this means that the frequency of emission is much higher than the characteristic gyro frequency.

Alfvén and Herlofson's specific suggestion was that particles might move in the strong magnetic fields of certain stars, which is now known to be incorrect. Several Russian theoreticians, particularly Shklovksy and Ginzburg, modified the idea and developed it into an acceptable mechanism. They reasoned that if the high energy particles which rain down upon the earth as cosmic rays, fill the Milky Way and move in a general galactic magnetic field, they could be responsible for the background of radio emission discovered by Jansky. Because of the high frequencies produced in the synchroton process only weak fields would be needed. Furthermore, the spectrum of radiation emitted depends on the energy spectrum of emitting particles, and cosmic ray particles were believed to have the correct energy spectrum.

The Russians pointed out one more important fact: Just as the dipole in an antenna constrains the electrons to move in one direction and produce polarized emission, so the magnetic field produces acceleration in a single plane and synchrotron emission ought therefore to be polarized. Shklovsky suggested that the continuum emission from the Crab Nebula (the remnant of a star which exploded some 900 years ago) was probably produced by the synchrotron process and should be polarized.

That it was polarized was confirmed by, among others, Oort and Walraven in the mid-1950's. Although this was on the basis of optical measurements, we now know that the radio continuum from the Crab is also linearly polarized. But just as the earliest radio mystery was being cleared up, so a new one appeared. For the particles responsible for producing optical synchrotron radiation have very short lifetimes, much shorter than the age of the Crab Nebula. There must be an energy storage supply within the remnant.

It was not until the late 1960's that a plausible solution to this problem was found, with the discovery of the pulsars - radio sources which produce regular pulses of emission with a period which falls between a fraction of a second and several seconds. Within a year, the suspected stellar remnant of the Crab was found to be a pulsar, and its high frequency and regular period could only be explained by postulating a rapidly spinning

neutron star. When a regular increase in the pulse period was discovered one could estimate the rate at which the star loses energy and this is essentially equivalent to the energy required to keep the high energy charged particles radiating. The problem of energy storage seemed solved, for one source at least.

Over the same years that the Crab Nebula yielded some of its secrets, significant advances were made in the study of extragalactic radio sources. In the late 1940's it was discovered that some elliptical galaxies (star systems like our own Milky Way, but lacking the spiral structure seen in other galaxies and having instead a smooth, elliptically shaped light distribution) possess remarkably strong radio emission. An early interferometer experiment showed that one of these, the extremely intense object Cygnus A, surprisingly consists of two patches of radio emission on either side of the visible galaxy. The cause of this mysterious double structure, which is found in the majority of quasars and radio galaxies, has puzzled astronomers for twenty years now.

Advances have been made in understanding the emission process (the fact that it is synchrotron emission with a non-thermal spectrum and often polarized has long been known), delineating details in the structure and using the polarization to "map out" the magnetic field direction. The source of the energy has long been a riddle, but by analogy with pulsars many astronomers now favor a massive rotating body near the center of the optical object as the energy storehouse. Even if this is true, we still face the problem of transporting energy from the center to the two radio components.

The last few years has seen the development of models in which the energy transport and morphology problems are solved simultaneously. The fact that in Cygnus A and several other radio galaxies the outer components are found to contain intense, compact peaks of radio emission which line up very precisely with the center of the visible galaxy requires a highly collimated energy flow. This has suggested a sort of "double beam" of particles shot from the center and illuminating the outer components. A cosmological analogue, in effect, of the cathode ray tube.

If there are, indeed, narrow channels connecting the energy storehouse with the radio emission, we might ask whether radio observations can reveal their presence. Recent Westerbork measurements have shown that in a few objects, there are very weak, narrow features emanating from the center of the optical object and pointing in the direction of the two outer components. Further studies of their structure are already underway and no doubt the answers they throw up will reveal a multitude of new riddles waiting to be solved.

EXTRAGALACTIC X-RAY SOURCES.

You have just read about several problems which have arisen over the past years. Now I would like to discuss just one unsolved problem which concerns extragalactic x-ray sources. Instead of thinking about radio waves with frequencies about 10^9 Hz, we now shift to frequencies of 10^{18} Hz. In the energy domain, this is equivalent to photons which have a few keV instead of radio photons which have only a few μeV.

Prior to 1970, most x-ray observations were made from rockets. But during the last 5 years, several x-ray satellites have been in operation: UHURU, ANS, and several others. So several hundred x-ray sources have been catalogued with positions known with accuracies from a few degrees to a few min. of arc. Of these sources, there are about 100 which are probably not in our galaxy, and of the 100 extragalactic sources, several have been identified with optical counterparts. The process of optical identification has distinguished two classes of extragalactic x-ray sources.

Members of the first class are "compact" in the sense that they are identified with nuclei of galaxies or quasars, they are often variable in their x-ray emission (timescales of years), and often the x-ray spectrum indicates absorption by interstellar material at the source.

Members of the second class are identified with clusters of galaxies. Several of these are known to be extended (5-15 arcmin.), there is no evidence of excess absorption, and no evidence of variability.

Now we will examine clusters of galaxies and see how radio observations by instruments like Westerbork can help determine the physical process responsible for the x-ray emission. First, to remind ourselves of the distance scales involved in clusters of galaxies, we remember that it takes light much less than a second to go around the earth, about 9 minutes to travel from the sun to the earth, about 70.000 years to get across our milky way galaxy, but to cross a cluster of galaxies, it takes light 20 million years.

In considering the various physical processes which might produce electromagnetic radiation, we realize right away that it would be difficult to imagine that synchrotron emission (one of the primary mechanisms responsible for radio sources) could be responsible for the x-ray emission from clusters of galaxies. Lifetimes of relativistic electrons which would radiate at 10^{18} Hz must be less than 2000 years (compare this to the travel time across clusters of galaxies of 20 million years). Thus the source of the electrons would have to be confined to many galactic nuclei, distributed throughout the core of the cluster and we would then expect to see absorption

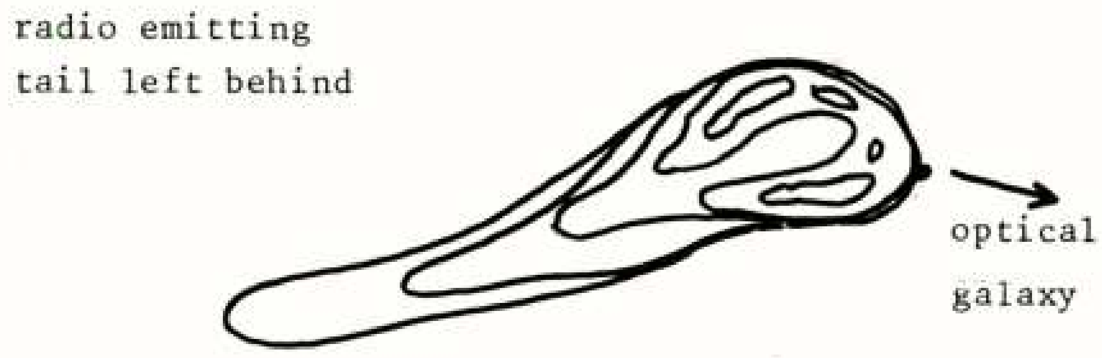
by galactic material in the integrated x-ray spectrum, which is not observed.

There are, however, two plausible physical processes which could provide x-rays. The first is thermal bremsstrahlung; that is free-free emission for a very hot gas. We expect x-ray emission from electron-proton encounters from a plasma with $T \sim 10^8$ K and densities of $\sim 10^{-3}$ particles cm^{-3}. Such a gas could well exist in the potential well caused by the high density of galaxies in the core of a cluster of galaxies.

The other physical mechanism which could explain the x-ray emission is the so-called inverse Compton scattering. In this case, we need a population of relativistic electrons which collide with photons of the 3° K background radiation which are present throughout the universe. The photons which have a characteristic frequency of 10^{11} Hz gain energy at the expense of the electrons and become x-ray photons with $\nu \sim 10^{18}$ Hz.

By now, you must be wondering why a discussion about radio astronomy has been concerned only with x-rays! But there are two types of radio observations which have been underway at Westerbork which directly bear on the competing models of x-ray emission in clusters of galaxies.

First we have the "tailed radio galaxies" which occur in clusters of galaxies. Imagine a radio galaxy such as those described by Dr. Strom, but now consider how it will be modified if the galaxy is moving through a plasma such as that needed to explain the x-rays on the basis of the hot gas model. The ejected radio lobes will be stopped by the gas, whereas the galaxy keeps moving on. Now if the galaxy ejects radio emitting lobes in a continuous manner, a tail will develop, showing the approximate path of the galaxy (or of the winds in the intergalactic gas).



When calculations of pressure balance are made, temperature and densities are found which are quite similar to those needed to explain the x-ray emission.

On the other hand, the same radio observations which map the tailed radio galaxies sometimes reveal extended, low-brightness radio sources which do not seem to be associated with an individual galaxy. In this case, we have direct evidence that a population of relativistic electrons is present in the core of the cluster, and if the magnetic field is less than 10^{-7} gauss, the observed x-ray emission would be a natural by-product through the inverse Compton process.

Although there are several other lines of evidence which support one or the other of the possible physical processes responsible for the x-ray emission from clusters of galaxies, none are conclusive. Further observations are continuing at Westerbork in order to better understand the formation processes of tailed radio galaxies and to determine the polarization and spectral characteristics of the extended radio sources in the centers of clusters, in the hope that this (unsolved) problem in x and radio astronomy will soon be solved.

Voordracht gehouden op 29 oktober 1976 in de Rijksuniversiteit Leiden tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 259) en de Benelux section-IEEE.

VAN DE REDACTIE

Op 14 oktober 1975 werd in Utrecht een werkvergadering (no. 249) gehouden over het thema "Programmabestuurde telefooncentrales en de gevolgen er van". De vier lezingen werden gepubliceerd in "de ingenieur" jaargang 88 no. 25, 26 en 47. De redactie stelt het op prijs de leden hiervan overdrukken te kunnen aanbieden. (pag. 37 t/m 47).

Programmabestuurde telefooncentrales

1 Een technische uitdaging

Prof. ir. J. L. de Kroes
Afd. der Elektrotechniek, TH Delft

Inleiding
Het werk van de ontwerper van een nieuw telefoonsysteem, de 'systeemarchitect', vertoont veel overeenkomst met dat van een bouwkundig architect. Beiden moeten rekening houden met de eisen die door publiek en beheerder aan het systeem of gebouw worden gesteld. Ze moeten er bovendien rekening mee houden dat deze eisen in de loop van de gebruiksperiode, d.w.z. de volgende vijftig jaar, zich zullen wijzigen. Ze moeten systeem resp. gebouw zo ontwerpen dat het gedurende deze vijftig jaar door aanpassing modern kan blijven. Beiden passen een veelheid van technieken toe; technieken die door hen niet alle tot in details worden beheerst.
Zoals de prijs van een huis eerst bekend is nadat het gebouw is opgeleverd, is de prijs van een telefooncentrale eerst werkelijk te bepalen nadat deze enkele jaren in fabricage is geweest. Vóór deze tijd is de prijs slechts schattenderwijs aan te geven.
Het grote verschil tussen het produceren van huizen en telefooncentrales wordt veroorzaakt door de wijze van fabriceren: fabricage van enkele stuks of van kleine series versus massafabricage.

Eisen en wensen
Evenals bij een gebouw zal voor een nieuwe telefooncentrale een lijst van eisen en wensen, de specificatie, moeten worden opgesteld waarin opdrachtgever en industriële ontwerper gezamenlijk vastleggen waaraan het ontwerp zal moeten voldoen. Men moet hier niet te licht over denken; het opstellen van deze eisen en wensen vraagt veel creativiteit en het totaal vult vaak een aantal dossiermappen. Wat de zaak gecompliceerd maakt is de wens dat de centrale door aanpassing gedurende de gebruiksperiode van vijftig jaar modern moet blijven. Dit vraagt zowel een visie op de toekomst als een grote flexibiliteit van het ontwerp, vooral ook omdat de toekomstige eisen vaak niet precies zijn te formuleren. Ook komt het voor dat nieuwe eisen door het ontwerp worden uitgelokt; omdat in een gerealiseerde centrale een bepaalde onuitgesproken wens zonder grote kosten vervuld kan worden, wordt dit in toekomst een eis.
Men kan de gewenste systeemflexibiliteit als volgt nader onderverdelen:
1 De centrale moet gedurende de gebruiksperiode kunnen worden uitgebreid. Hierbij kan de moeilijk te voorspellen groei van aantal abonnees en verkeer voor verrassingen zorgen.
2 Gedurende de gebruiksperiode moeten nieuwe abonneegerieven, nieuwe onderhoudsmethoden en nieuwe methoden voor administratieve bedrijfsvoering kunnen worden ingevoerd.
3 De centrale moet geschikt zijn voor latere invoering van andere transmissiemiddelen. Hierbij moet vooral gedacht worden aan het invoeren van pulscode-modulatie of een andere vorm van pulstransmissie.
4 De centrale moet aangepast kunnen worden aan nieuwere inzichten op het gebied van netwerk-management. Hierbij dient men te denken aan netwerken die in geval van storing van één van de delen, bijv. een kabelbreuk, op bevel van een onderhoudscentrum in een andere configuratie kunnen worden gebracht.
De onder punt 2 en 4 genoemde flexibiliteit behoort tot de typisch 'uitgelokte' eisen, ze kunnen in een moderne programmabestuurde centrale zonder complicaties worden gerealiseerd.*

Onderdelen
Zoals voor een architect de bouwtechniek en de materialen erg belangrijk zijn, zo vormen voor de systeemontwerper de onderdelen, de circuittechniek en de opbergtechniek de uitgangspunten. In feite kan men stellen dat de snelle ontwikkeling, die de telefooncentrales in het huidige tijdvak doormaken, veroorzaakt is door de komst van snelle, kleine, goedkope en weinig warmtedissiperende onderdelen. We doelen hierbij op de onderdelen van de halfgeleiderfamilie. Waren dit een tiental jaren geleden nog afzonderlijke dioden en transistoren, nu komen op uitgebreide schaal geïntegreerde circuits beschikbaar waarbij grote aantallen dioden en transistoren op eenzelfde onderlaag worden gevormd en door middel van een microprint tot een schakeling worden verenigd.
De interesse van de systeemontwerper ligt niet in het maken van de onderdelen maar in het gebruik ervan. Hij zal vragen naar de snelheid, de dissipatie per poort, de storingsgevoeligheid, naar de veranderingen

* Wij hopen in een volgend nummer van 'De Ingenieur' hierop nader terug te komen in een tweetal artikelen van de hand van resp. ir. W. van Eyk en ir. G. A. Joosten

van deze eigenschappen gedurende de gebruiksperiode en naar de prijs. De ontwerper tekent een onderdeel in zijn schema's altijd als een klein zwart doosje (black box) met uitgangen aan beide zijden. Het is merkwaardig dat de onderdelen, na jarenlang als zwarte doosjes te zijn getekend, er nu ook inderdaad zo uitzien!

De keuze van het onderdelenassortiment is zeer belangrijk en bepaalt voor een groot deel het succes van een systeem. De technologie waarmee die onderdelen worden vervaardigd speelt daarbij een grote rol. Naast door de leverancier gepubliceerde gegevens zal de ontwerper zich ook interesseren voor de vraag hoe 'volwassen' is deze technologie en zal deze de volgende 10 jaar de leidende halfgeleidertechnologie blijven of worden? Als de keuze op een bepaalde technologie gevallen is zal de ontwerper zich tot een zo klein mogelijk aantal typen willen beperken; dit zowel voor de kwaliteitsbewaking als ten behoeve van de voorraad reserve-onderdelen bij de PTT-administraties. Ook zal de ontwerper, om begrijpelijke redenen, proberen die typen te kiezen waarvoor ook in andere toepassingsgebieden grote omzet is te verwachten.

Daar de keuze van het onderdelenassortiment tot stand komt zonder dat de ontwerper alle gegevens tot zijn beschikking heeft, is een zekere mate van 'helderziendheid' onontbeerlijk. Daarom kan het voorkomen dat gedurende de fabricageperiode overwogen moet worden op andere, betere, onderdelen over te gaan. Men kan hierbij bijv. denken aan het kerngeheugen dat momenteel een bijzondere concurrent heeft gekregen nl. het halfgeleidergeheugen. Deze halfgeleidergeheugens komen zowel qua prijs als qua dissipatie en betrouwbaarheid de kerngeheugens reeds zeer nabij, zodat met een omwisseling ernstig rekening moet worden gehouden.
Heeft de ontwerper het al moeilijk bij de keuze tussen verschillende op de markt verkrijgbare onderdelen, nog moeilijker ligt het bij het zelf ontwerpen en fabriceren van een onderdeel. Uitwijken naar een andere fabrikant of ander type is dan meestal niet meer mogelijk, hij kan veel moeilijker op zijn keuze terug komen. Zijn keuze moet dus ineens goed zijn. Een voorbeeld van zo'n situatie is het reedrelais, de hoofdbouwsteen van de ruimtelijk verdeelde spreekwegennetwerken.

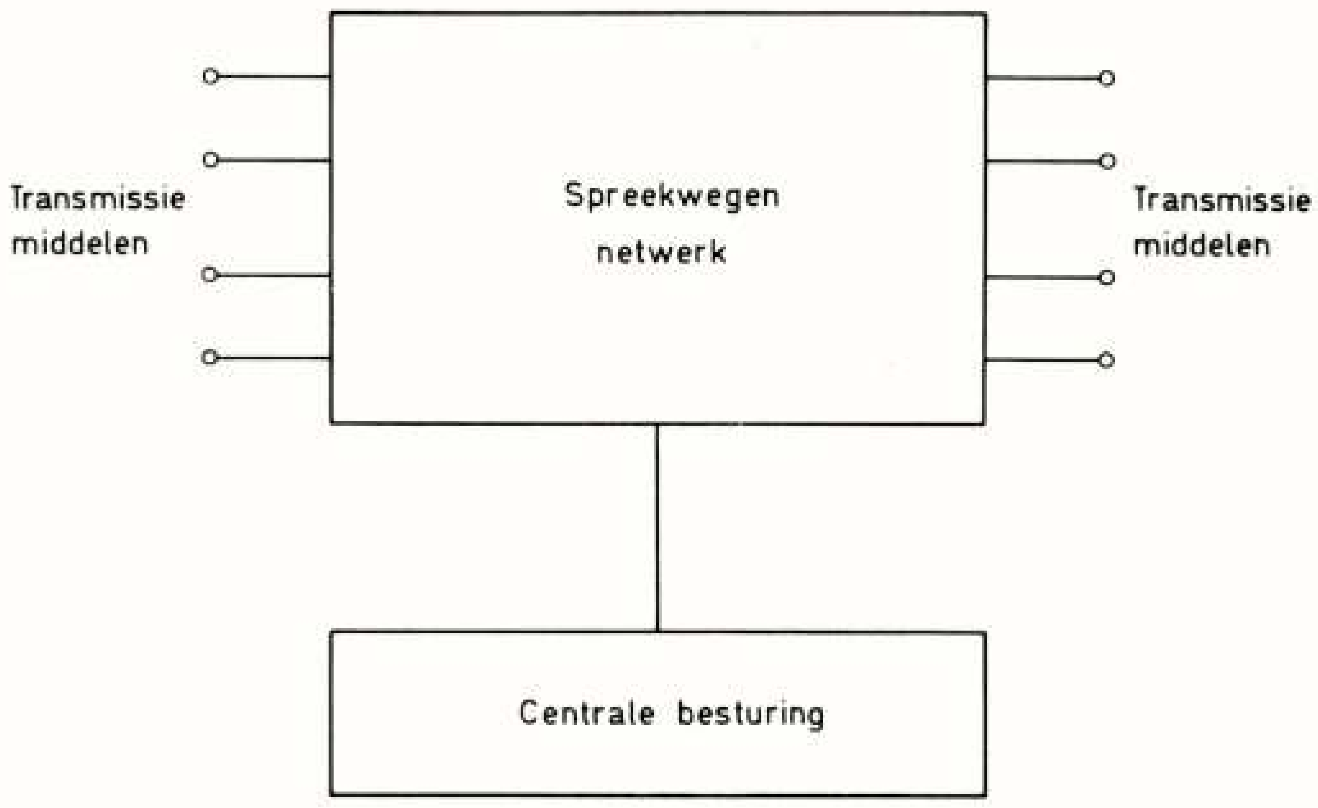


Fig 1: het spreekwegennetwerk en de centrale besturing zijn twee delen van een moderne telefooncentrale

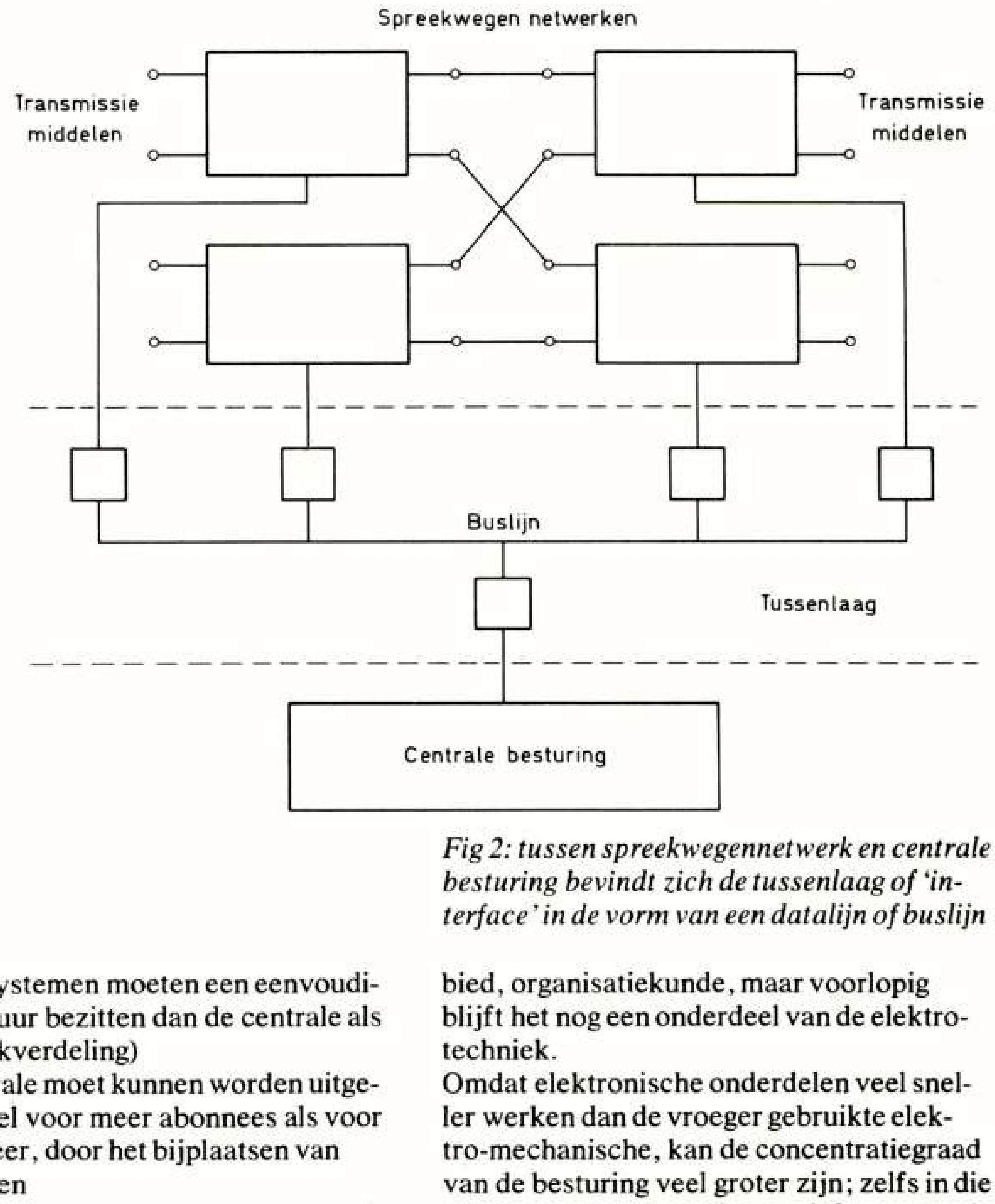


Fig 2: tussen spreekwegennetwerk en centrale besturing bevindt zich de tussenlaag of 'interface' in de vorm van een datalijn of buslijn

De centrale structuur
De ontwerper zal zijn telefooncentrale opdelen in een aantal subsystemen; ook hier kan de vergelijking met een bouwkundig architect die een gebouw onderverdeelt in verdiepingen, kamers, enz. worden doorgetrokken. Hierbij geldt een veelheid van overwegingen waarvan de belangrijkste zijn:

- de subsystemen moeten een eenvoudigere structuur bezitten dan de centrale als geheel (taakverdeling)
- de centrale moet kunnen worden uitgebreid, zowel voor meer abonnees als voor meer verkeer, door het bijplaatsen van subsystemen
- het berichtenverkeer dat zich tussen de verschillende subsystemen gaat ontwikkelen moet hanteerbaar blijven
- de kostprijs mag niet, of niet noemenswaardig, worden verhoogd door de opdeling.

Deze subsystemen worden weer verder onderverdeeld in subsystemen van de tweede orde enz., tot wij in een aantal stappen uitgekomen zijn bij de onderdelen. Men zou dit proces kunnen zien als een apart vakgebied, organisatiekunde, maar voorlopig blijft het nog een onderdeel van de elektrotechniek.
Omdat elektronische onderdelen veel sneller werken dan de vroeger gebruikte elektro-mechanische, kan de concentratiegraad van de besturing veel groter zijn; zelfs in die mate dat er in een moderne telefooncentrale nog maar één centrum is waar de beslissingen, zeer snel na elkaar, worden genomen. De centrale wordt daardoor in twee delen gesplitst nl. het *spreekwegennet* ter doorverbinding van de transmissiemiddelen en de *centrale besturing* waar de beslissingen worden genomen (fig 1).
Tussen deze beide is nog een tussenlaag te onderscheiden (interface) welke dient voor:
- *Snelheidsaanpassing*. Het centrum kan

de beslissingen veel sneller nemen dan het spreekwegennet ze kan uitvoeren.
– *Spanningsaanpassing.* Het spreekwegennet werkt, met het oog op storingsgevoeligheid, met hogere stromen en spanningen dan de snelle elektronica in het centrum.
– *Adressering.* Het spreekwegennet is in een groot aantal subsystemen gesplitst die onafhankelijk van elkaar berichten kunnen uitwisselen met de centrale besturing. De tussenlaag zorgt ervoor dat de berichten bij het juiste subsysteem komen.

Het opsplitsen van het spreekwegennet is nodig om te kunnen uitbreiden. In figuur 2 is de modulaire bovenbouw duidelijk te onderscheiden van de compacte eenheid in de centrale besturing. Het spreekwegennet heeft een veel symmetrischer opbouw dan dat van vroegere centrales. Een binnenkomende lijn kan met iedere uitgaande lijn worden verbonden. In figuur 3 is het spreekwegennet van een vroegere districtscentrale weergegeven. Een binnenkomende lijn bijv. van andere DC kan niet met iedere uitgaande lijn worden verbonden bijv. naar andere KC. Dit kan wel in het symmetrische spreekwegennetwerk van een moderne programmabestuurde districtscentrale dat in figuur 4 is weergegeven. Dit is van belang voor een mogelijke herconfiguratie van het netwerk. De tussenlaag heeft de vorm van een datalijn of buslijn. Deze buslijn wordt geheel beheerst door de centrale besturing d.w.z. de subsystemen van het spreekwegennet moeten wachten totdat de centrale besturing ze oproept.
Betrekkelijk langzaam is het besef gegroeid dat de centrale besturing van een telefooncentrale door een digitale rekenmachine moet worden gevormd. In 1957 werd door Bell Laboratories het basis-octrooi ingediend, maar drie jaar later werd in een internationaal congres, gewijd aan elektronische centrales, nog slechts door 2 van de 40 bijdragen aandacht aan deze mogelijkheid geschonken. (Het eerste ontwerp is afkomstig van Budlong, Drew en Harr).
Dit vindt zijn oorzaak in de toenmalige rekenmachines die waren ontworpen voor groepsgewijze bewerking van gegevens met variabele programma's, noodzakelijk om telkens andere problemen te kunnen oplossen. In een telefooncentrale daarentegen moet de rekenmachine een proces besturen waarbij het tempo niet door de rekenmachine maar door het proces (d.w.z. het telefoonverkeer, de signalering van de abonnees en andere centrales) wordt bepaald. Dit betekent dat de centrale besturing het proces voortdurend moet volgen en met hoge frequentie, iedere 10 à 12 ms, moet nagaan of er iets in de periferie is veranderd. Dit geeft een heel eigen structuur aan deze programma's. Bovendien moesten er programma's ontwikkeld worden voor een regelmatige controle op het goed functioneren van alle delen van de centrale, alsmede een groot aantal programma's die er voor moeten zorgen dat de centrale adequaat reageert op storingen in de hardware (spreekwegennet) en verdere huishoudelijke programma's.

De daartoe benodigde computer-techniek wordt nu steeds meer beheerst, maar zal zich in de toekomst zeker nog verder ontwikkelen. Het is dan ook te verwachten dat de volgende generatie van telefooncentrales een rijpere hantering van deze techniek te zien zal geven d.w.z. een besparing op programmatuur en een efficiënter gebruik van de computertijd.

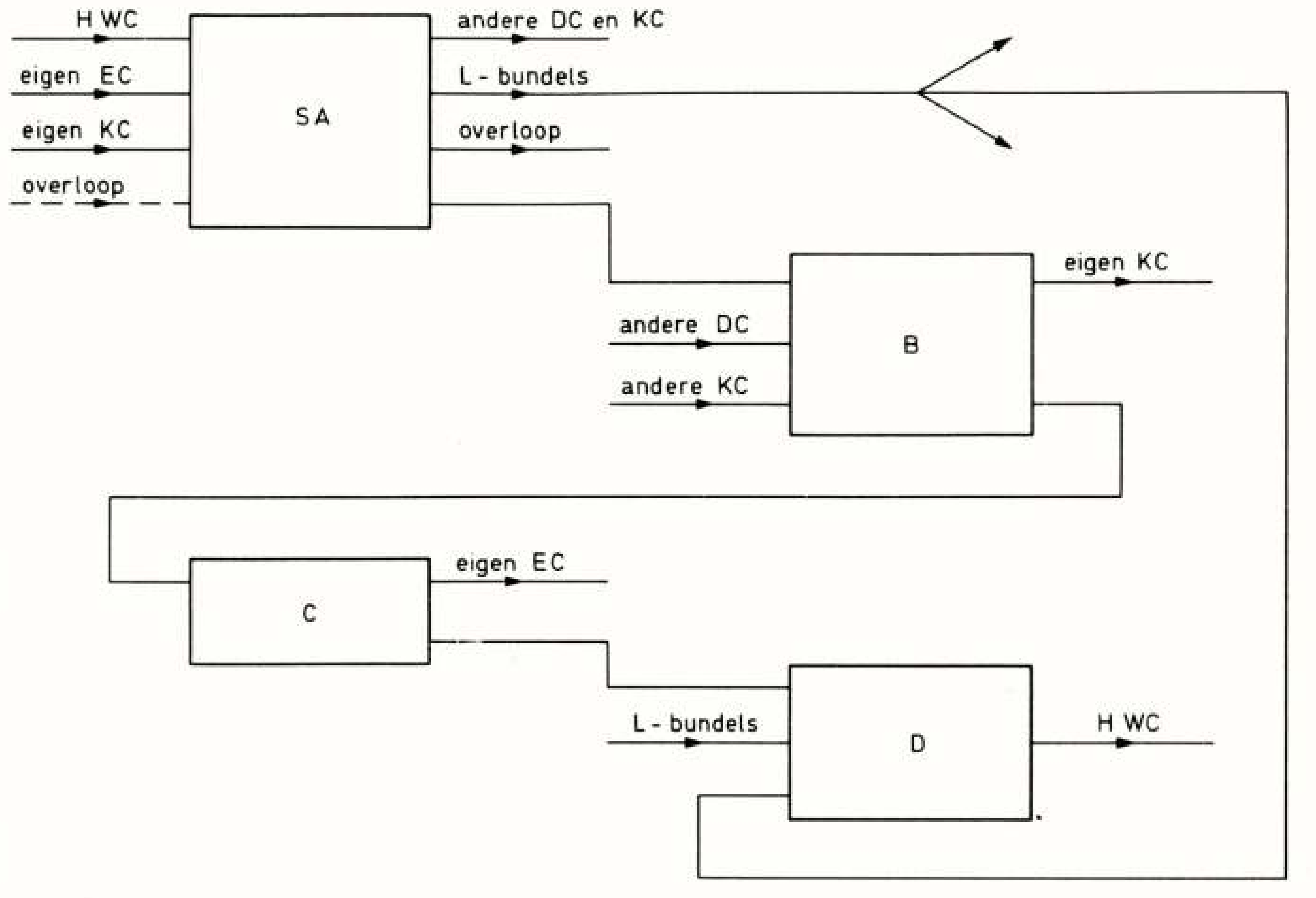


Fig 3: het spreekwegennetwerk van een vroegere districtstelefooncentrale. SA-B-C is de volgorde van het kiezen van de cijfers van het netnummer. H WC = hoofdwijkcentrale; EC = eindcentrale; KC = knooppuntencentrale; DC = districtscentrale; L-bundels geven rechtstreeks toegang tot lokale netten met verkort netnummer (010-020-030, enz.)

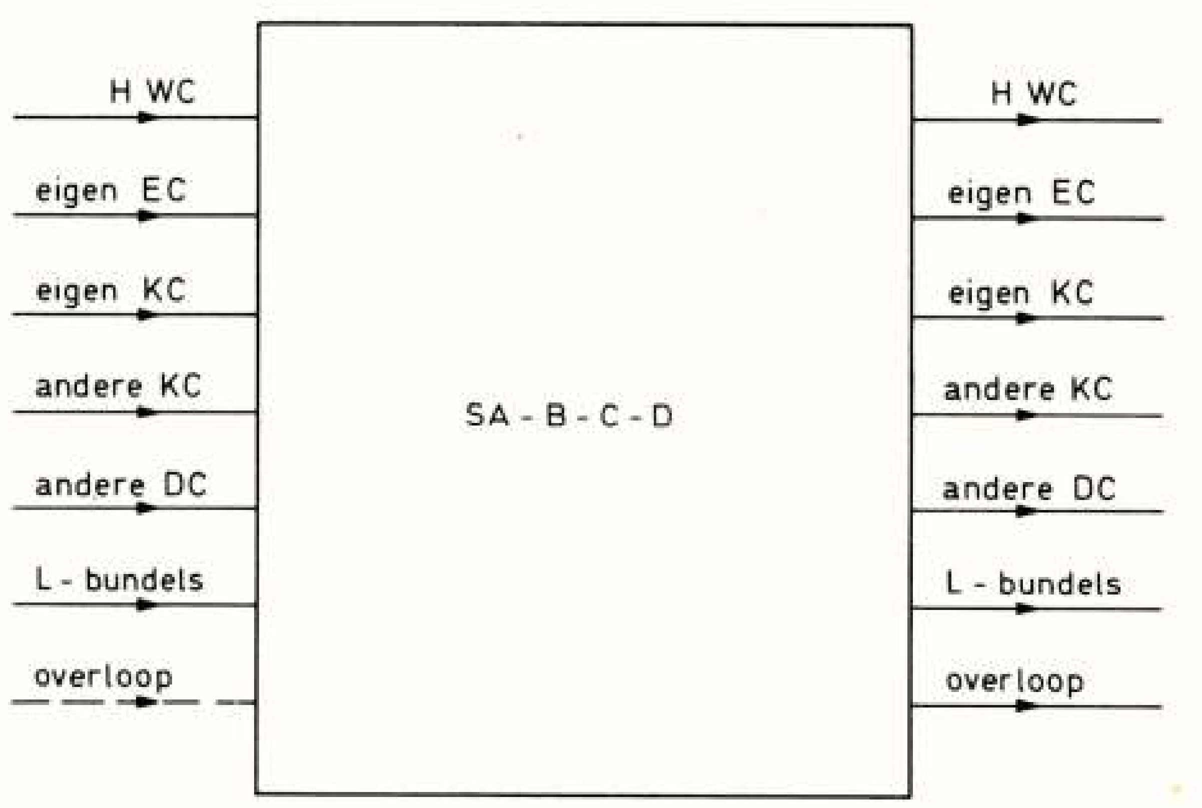


Fig 4: de moderne configuratie van een moderne programmabestuurde districtscentrale

Kenmerkend voor de dominerende rol die de computer in de centrale vervult, is de verandering in de naamgeving van het vakgebied. Werd er 15 jaar geleden gesproken van elektronische centrales, tegenwoordig valt de nadruk op de computer hetgeen tot uitdrukking komt in de naam programmabestuurde telefooncentrales.

Benodigde technieken
De systeemontwerper moet voor het vervullen van zijn taak op de hoogte zijn van een aantal technieken, zonder deze technieken tot in alle details zelf te beheersen. Hieronder vallen:

- schakeltechniek
- transmissietechniek
- verkeerstechniek
- betrouwbaarheidsberekening
- computertechniek
- signalering.

De eerst genoemde drie technieken vormden ook reeds de grondslag voor de elektro-mechanische systemen en mogen bekend worden verondersteld.
Van meer recente datum is de betrouwbaarheidsberekening waarbij een afschatting wordt gemaakt van de betrouwbaarheid van een hele centrale of van een subsysteem.

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen het berekenen van de kans op niet-werken ('down gaan') en van de hoeveelheid te verwachten reparatuur. Er kan in een centrale nl. vrij veel defect raken zonder dat de abonnees daar veel van hoeven te merken.
De betrouwbaarheidsaspecten moeten in alle fasen van het ontwerpen worden betrokken, dat kan niet achteraf gebeuren als het ontwerp meer of minder gereed is.

De computertechniek is in volle ontwikkeling, waarbij het gebruik van verschillende talen op de voorgrond staat. Ook voor telefooncentrales is er een behoefte om, naast de directe instructies aan de processor (assemblertaal), te beschikken over een hogere-orde taal die bijv. geschikt is om door de beheerder van de centrale te worden gebruikt om zonodig bepaalde stukken van de programmatuur te kunnen wijzigen.
Daarnaast zijn talen in ontwikkeling voor de communicatie tussen de onderhoudsman en de centrale met behulp van een verreschrijver, alsmede voor het vastleggen van de systeemspecificatie.
Een zelfde trend zien we op het gebied van de signalering, ook daar gaat de ontwikkeling in de richting van talen.

Evenals de apparatuur van een telefooncentrale wordt verdeeld in subsystemen, die weer worden verdeeld in subsystemen van de tweede orde wordt ook de programmatuur verdeeld in deelprogramma's, die weer worden onderverdeeld in deelprogramma's van de tweede orde. Ook hier wordt de eis gesteld dat de deelprogramma's van hogere orde steeds overzichtelijker taken krijgen en van eenvoudiger structuur zijn. De informatie-uitwisseling tussen de deelprogramma's is daarbij een punt van bijzondere zorg.
Dit heeft tot gevolg dat het ontwerpen van een telefooncentrale steeds meer inspanning vraagt op het gebied van de computertechniek hetgeen sterk drukt op de initiële kosten. Deze hoge initiële kosten tenderen enerzijds naar het afnemen van het aantal telefoonsystemen in de wereld omdat steeds minder systemen deze kosten kunnen opbrengen, anderzijds naar een verlenging van de periode waarover ze kunnen worden afgeschreven, dus een langere fabricageperiode.

Conclusie

De ontwerper van een moderne telefooncentrale beschikt over een veelheid van technieken, van onderdelen en van oplossingen, maar ook een veelheid van wensen en eisen. De uitdaging waarvoor hij zich gesteld ziet is om uit dit alles een evenwichtig ontwerp te maken.

Programmabestuurde telefooncentrales

Het eerste artikel in deze reeks is gepubliceerd in 'De Ingenieur' 1976, nr 25

2 Consequenties voor de telecommunicatienetten

Ir. W. van Eijk
Centrale Afdeling Telefonie, Leidschendam

Inleiding
Het is de taak van de PTT als dienstverlenend monopoliebedrijf om voor zijn 'klanten' naar een optimum te streven tussen aan de ene kant dienstverlening en kwaliteit en aan de andere kant wat ervoor moet worden betaald. De invoering van de programmabestuurde telefooncentrales maakte een nieuwe bezinning op deze fundamentele opgave nodig. Daarbij zijn drie aspecten van belang, de technische, de financiële en de sociale aspecten. Aan alle drie dient een zelfde aandacht te worden gegeven wil men een optimum bereiken, zowel voor het bedrijf als voor de samenleving.
De genoemde aspecten staan echter niet op zichzelf, ze zijn op te vatten als componenten die in elkaar transformeerbaar zijn. Zo streeft het personeelsbeleid tegenwoordig terecht naar zekerheid, carrière naar aanleg resp. vermogen en naar zinvol werk. Dat zijn de sociale aspecten, maar men kan personeel ook beschouwen uit financieel standpunt. Dan wordt 'personeel' een investering, een soort huurkoop, met als belangrijkste eigenschappen een zeer lange levensduur maar onderhevig aan biologische en technologische veroudering en steeds moeilijker 'up-date-baar'. We kunnen deze drie componenten weergeven als hoekpunten van een driehoek, (fig 1) en het optimum waarnaar we streven ligt dan ergens in de buurt van het zwaartepunt. Hierbij denken we onwillekeurig aan de kleurendriehoek en waar we naar zoeken zouden we het 'witpunt' kunnen noemen.

De levensduur van een systeem bepaalt de keuze
De keuze van een telefoonsysteem is voor de PTT een bijzonder belangrijke zaak omdat een eenmaal gekozen systeem zeer lang in bedrijf blijft. De 'levensloop' van een telefoonsysteem is in figuur 2 gestileerd weergegeven, waarbij verticaal de capaciteit aan nummers is uitgezet en horizontaal de jaren. De eerste 10 jaar worden alleen centrales van het nieuwe systeem aangeschaft en stijgt de capaciteit snel. Na ca 10 jaar wordt een volgend systeem gekozen maar de aanwezige centrales breiden nog verder uit en

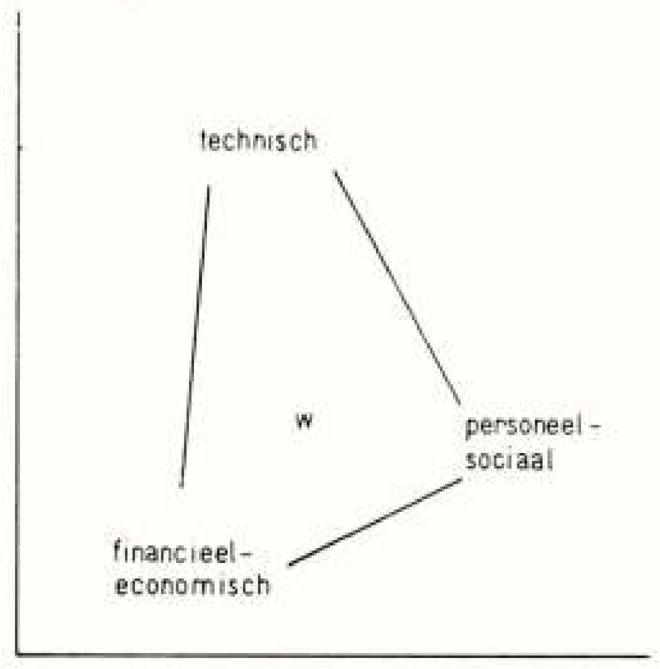


Fig 1: de drie aspecten van de beleidsvoering

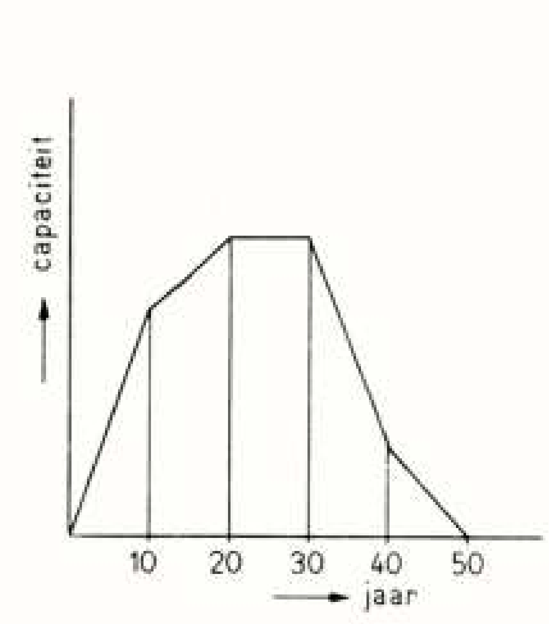


Fig 2: de levensloop van een telefoonsysteem

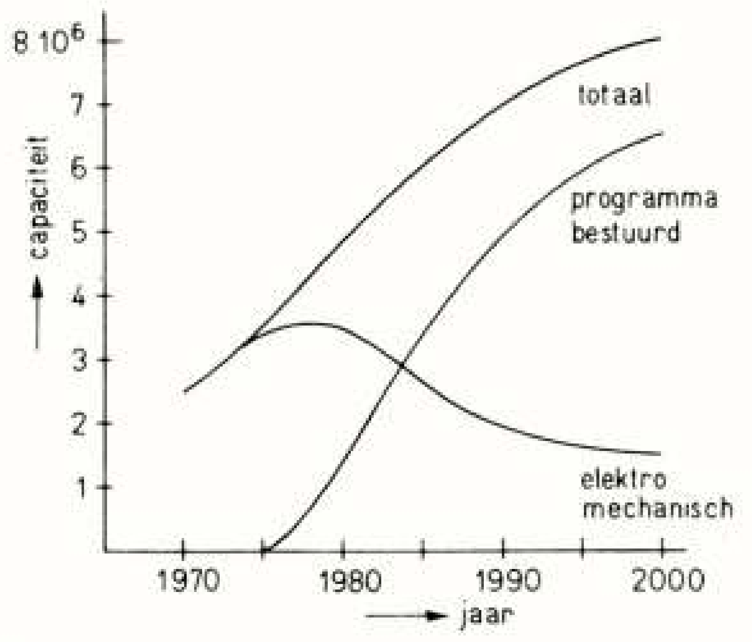


Fig 3: de capaciteit van het nederlandse telefoonnet

pas na ca 20 jaar is de capaciteit ongeveer constant geworden. Na 30 jaar zijn de eerste centrales bedrijfseconomisch gezien, versleten en na 50 jaar zijn alle centrales vervangen. Deze 'levensduur' komt vrij aardig overeen met de dienstjaren van personeel, een verband dat bijzonder belangrijk is.
Is de systeemkeuze gemaakt, dan dient besloten te worden hoe snel het nieuwe systeem zal worden ingevoerd en in welke hoeveelheid. In figuur 3 is de planning voor de totale capaciteit aan nummers voor het telefoonnet weergegeven tot het jaar 2000. Als totale capaciteit voor het jaar 2000 is momenteel 8 miljoen aangenomen, gebaseerd op bevolkingsprognose, gezinsverdunning en dergelijke overwegingen. Dit getal is de laatste jaren enkele malen verlaagd. Uit de figuur blijkt dat de elektro-mechanische centrales tussen 1975 en 1980 een maximum capaciteit van ongeveer 3,6 miljoen zullen bereiken om daarna geleidelijk te verminderen omdat ze versleten zijn en niet meer rendabel te exploiteren. Maar in het jaar 2000 zullen er nog 1,5 miljoen aansluitingen hiervan over zijn. Het aandeel van de programmabestuurde centrales loopt steil omhoog en zal tot zeer grote capaciteiten uitgroeien. Bovenstaande planning gaat er van uit dat tot het jaar 2000 de conventionele telefoon in gebruik zal blijven; met een eventuele invoering van geavanceerde breedband-communicatie-apparatuur bij de abonnee thuis is geen rekening gehouden.

Enkele technische consequenties van de PB-centrales
In de eerste plaats is er een mogelijkheid gekomen om de dienstverlening voor de abonnee te verbeteren door het beschikbaar stellen van nieuwe gerieven. Dat wordt nu mogelijk omdat deze gerieven geautomatiseerd zijn en daardoor betaalbaar. Eigenlijk betekent dit een terugkeer, maar nu in geautomatiseerde vorm, van de diensten die vroeger de lokale telefoniste verrichtte. In dit verband kunnen we noemen:
– vervanging van de kiesschijf door het veel geriefelijker druktoetskiezen
– invoering van een wekdienst

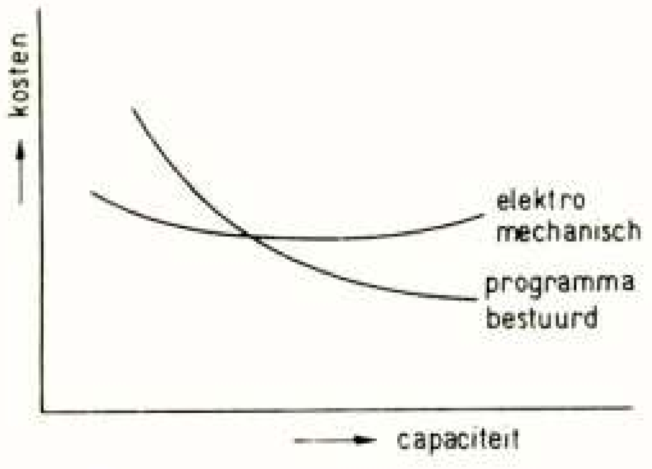


Fig 4: aanschaffingskosten van telefooncentrales per aansluiting

- herhaling van het gekozen nummer in geval van bezettoon
- afwezigheidsmelding
- mogelijkheid van niet storen (in Duitsland telefoonpauze genoemd)
- gesprekskostenspecificatie als men dat wenst.

Met een aantal van deze gerieven wil de PTT een bedrijfsproef nemen om na te gaan of er een markt voor is, welke procedures voor de klant optimaal zijn en wat het moet gaan kosten. Een moeilijkheid bij dit alles is het nog ontbreken van een europese standaardisatie.
In de tweede plaats heeft de programmabesturing belangrijke consequenties voor het ontwerpen van nieuwe en het uitbreiden van bestaande centrales. Per jaar vergt dit het maken van ongeveer 500 projecten waarbij voor de nieuwe centrales naast hardwareprojecten ook software-projecten nodig zijn. Momenteel wordt alle software door de leverancier verzorgd; de mogelijkheid van een eigen software-fabriek voor de PTT wordt wel bestudeerd. Daar hardware en software elkaar sterk beïnvloeden kan met het software-project ook het hardware-project door de leverancier worden verzorgd waarbij deze tevens de nodige fabricagegegevens verkrijgt. Hoewel dit als totaal een vereenvoudiging betekent, geeft het wel grote veranderingen in techniek, t.a.v. de financiële consequenties en in menselijke arbeid.

Een derde consequentie is de routering van de verbindingen door het net. Door het maken van dwarsverbindingen tussen centrales kunnen bepaalde verkeerscentrales worden overgeslagen waardoor een besparing op schakelapparatuur wordt bereikt. Dit is vooral belangrijk omdat de kosten voor elektro-mechanische centrales veel sterker zijn gestegen dan de kosten voor transmissie-apparatuur zoals uit tabel 1 blijkt.

Tabel 1: investeringen in procenten van het totaal t.a.v. een tweetal systemen

	1950	1974
elektro-mechanische centrales	25%	55%
transmissie-apparatuur	65%	35%

Tot nu toe worden dwarsverbindingen alleen consequent toegepast in het interlokale net. Rechtstreekse verbindingen in de lagere netvlakken bij mechanische centrales worden nl. te duur, o.a. door het vastleggen van de gesprekskosten. Bij programmabestuurde centrales zijn dergelijke verbindingen geen groot probleem. Wel maken dwarsverbindingen het net gecompliceerder waardoor bij uitbreiding van het net moeilijkheden ontstaan. Deze complicaties zullen vermoedelijk eerder de begrenzing vormen voor het aantal toe te passen dwarsverbindingen dan de technische mogelijkheden.

Financieel-economische gevolgen van de invoering

Belooft de programmabestuurde centrale ook lagere investeringen en lagere bedrijfskosten? Zoals uit figuur 4 blijkt hebben deze centrales een andere kostenstructuur dan de elektro-mechanische systemen. Terwijl bij laatstgenoemde centrales de kosten per aansluiting vrijwel constant zijn is dat bij de programmabesturing niet het geval. Dat wordt veroorzaakt door de kostbare centrale besturing die nodig is ongeacht de grootte van de centrale. Daardoor zijn geprogrammeerde centrales qua aanschaffingsprijs pas in het voordeel bij meer dan ongeveer 5000 nummers.
Er is echter een aantal andere overwegingen waardoor ook voor kleinere centrales programmabesturing economisch verantwoord kan zijn:

- PB-centrales vragen minder ruimte waardoor in bestaande gebouwen meer uitbreidingsmogelijkheden ontstaan
- PB-centrales zijn goedkoper in onderhoud
- PB-centrales zijn 'toekomstvast'; door software-veranderingen kunnen ze geschikt gemaakt worden voor nieuwe eisen die de toekomstige dienstverlening zeker zal stellen.

Gevolgen voor het personeel

Voor de nieuwe systemen is een totaal andere kennis nodig dan voor de elektro-mechanische centrales. Het werk krijgt een andere inhoud, het wordt minder concreet en vergt meer 'papier'. Bij exploitatie en storingsopheffing zijn strakkere procedures noodzakelijk om te voorkomen dat een centrale uitvalt. Ook de organisatie verandert, de wijze van samenwerking. Er komt minder scheiding tussen papier en apparatuur, techniek en administratie gaan in elkaar overvloeien.

Voor het oudere personeel zal deze omscholing in het algemeen niet mogelijk zijn maar, zoals reeds uiteengezet, de mechanische systemen zullen nog lang in bedrijf blijven. Voor deze groep is de werkgelegenheid voldoende veilig gesteld.
Voor de jongeren ligt het moeilijker; de verwachte abonnee- en verkeersgroei zal met veel kleinere aantallen mensen verwerkt kunnen worden. Dat heeft zijn invloed op de carrièreverwachtingen en -vervulling. Het is natuurlijk een langzaam proces dat we zo goed mogelijk willen beheersen maar dat er veranderingen komen en dat er minder zekerheden zijn, is niet te ontkennen.

3 Consequenties voor de bedrijfsvoering van de telefoondiensten

Ir. G. A. Joosten
PTT. telefoondistrict Utrecht

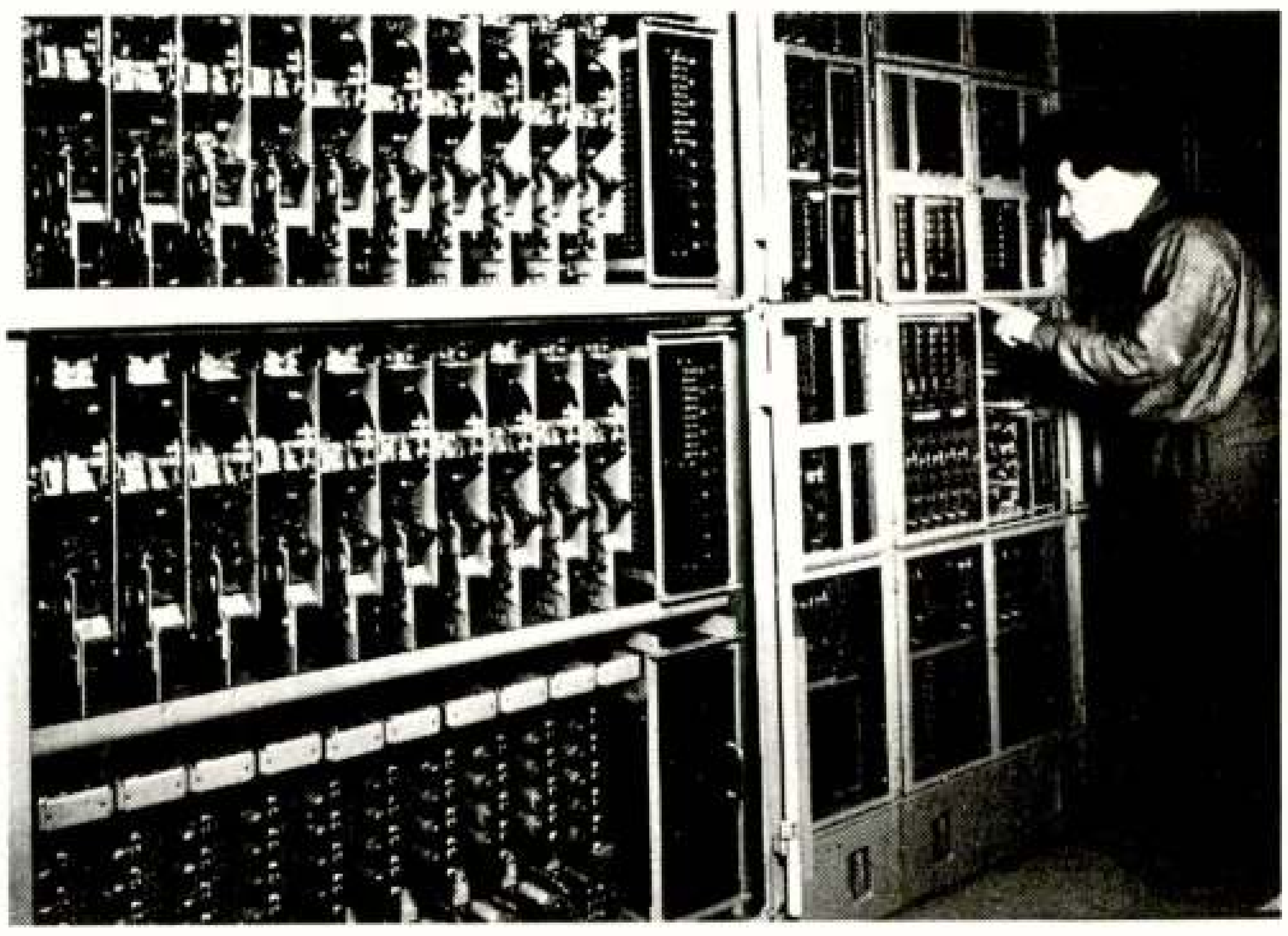
Inleiding

De indienstneming van de programmabestuurde lokale telefooncentrale Wormerveer op 10 juni 1974 is het begin geworden van de introductie in het nederlandse telefoonnet van dit door Philips ontwikkelde nieuwe telefoonsysteem, type PRX 205. Eind 1975 werd reeds de grens van de eerste 100 000 geïnstalleerde nummers overschreden.
De invoering van het PRX-systeem ligt vast in een meerjarenplan. Door regionale situaties ligt het invoeringstempo in de verschillende telefoondiensten nogal uiteen, de districten Amsterdam en Utrecht vormen momenteel de koplopers. Ter illustratie enkele gegevens voor het telefoondistrict Utrecht (tabel 1).
Dit impliceert dat eind 1980 ca 40% van de aansluitcapaciteit van het district Utrecht programmabestuurd zal zijn.
Realisatie van dit forse programma is alleen mogelijk door een strakke planning, zowel van de zijde van de leverancier als van die

Tabel 1: ontwikkeling in het telefoondistrict Utrecht

	ultimo 1974	ultimo 1975	ultimo 1980
aantal PRX-centrales	1	7	32
nummercapaciteit	1 024	17 920	198 000

van de PTT. De indienststelling in 1975 van de zes centrales in het district Utrecht is vrijwel probleemloos verlopen. Met enige voorzichtigheid kan hieruit geconcludeerd worden dat, met een passende voorbereiding, organisatie en medewerkers in staat zijn het nieuwe bedrijfsmiddel zonder grote aanpassingsmoeilijkheden in het totale werkpakket te integreren.



Bij de conventionele, elektro-mechanische telefooncentrale vergen sommige exploitatieve handelingen (zoals het verwerken van telefoonnota's) relatief veel tijd

Nieuwe mogelijkheden voor exploitatie en beheer

De programmabestuurde centrale biedt de telefoondienst nieuwe mogelijkheden voor exploitatie en beheer door de mogelijkheid om met de centrale te 'communiceren' d.m.v. een terminal. Voorts geeft de ruimte die in de capaciteit van de processor aanwezig is, de mogelijkheid om naast de telefonieprogramma's ook exploitatieprogramma's te behandelen.

Enkele voorbeelden kunnen dit toelichten. Het leeuwedeel van de exploitatieve handelingen in een telefooncentrale heeft betrekking op:

- in dienst stellen van nieuwe aansluitingen
- buiten gebruik stellen van aansluitingen (verhuizing, opzeggen)
- op informatietoon plaatsen van aansluitingen (bij langdurige afwezigheid, nummerwijziging, onbetaalde telefoonnota).

In elektro-mechanische centrales vereist dit een ingrijpen in de hardware, zoals het manipuleren met verbindingsdraden op een verdeler of het verzetten van contactstoppen. In de programmabestuurde centrales kan het merendeel van deze mutaties tot stand worden gebracht door het via de terminal wijzigen van de abonneeboekhouding van de processor.

Een ander voorbeeld heeft betrekking op de telefoonnotavervaardiging. In de conventionele centrales worden hiertoe de mechanische gesprekkentellers elke twee maanden gefotografeerd. De gegevens van de films moeten met de hand worden verponst voor het verder geautomatiseerde proces van de notavervaardiging. Bij de PRX-centrales wordt het aantal versproken eenheden per abonnee in het geheugen opgeslagen. Uitlezen van dit geheugen rechtstreeks op ponsband levert een duidelijke winst in de hele procedure op.

Ook bij het onderhoud van de centrale wordt een nuttig gebruik gemaakt van de mogelijkheden die de programmabesturing biedt. Doordat de processor zelf het juiste verloop van de telefonieprogramma's bewaakt en in principe op de hoogte is van de gehele verkeersafwikkeling in de centrale, worden storingen direct opgemerkt en zover als mogelijk is, gelokaliseerd. Via de terminal wordt een alarmbericht doorgegeven met alle beschikbare gegevens over de geconstateerde fout. Het personeel kan daardoor sneller en doeltreffender ingrijpen. Bij bijzondere storingen kan bovendien nog de hulp van aparte foutzoekprogramma's worden ingeroepen.

Beheer op afstand

De taak van het personeel in een programmabestuurde centrale is in feite beperkt tot het beheer d.m.v. de communicatie via de terminal. Daar het preventieve onderhoud ontbreekt en het correctieve onderhoud weinig tijd vraagt door een snelle storingslokalisatie m.b.v. de processor – en het vervolgens elimineren van de fout door het uitwisselen van een printkaart – vormt het totale beheer van een PRX-centrale lang geen dagtaak.

Daarom vindt een concentratie plaats van een aantal centrales tot een zgn. beheerseenheid; een beheersvorm die overigens ook bij conventionele centrales reeds wordt toegepast. Concentratie van conventionele centrales is maar in beperkte mate mogelijk wil de bereikte personele besparing niet teloor gaan aan reizen van het personeel dat voor alle werkzaamheden de centrales moet bezoeken. Bij programmabestuurde centrales kan de grens belangrijk worden verlegd door een tweede terminal op de processor aan te sluiten, dit toestel in het concentratiepunt op te stellen en van hieruit de meest voorkomende exploitatie- en onderhoudswerkzaamheden op afstand uit te voeren.

Bij PTT is daardoor voor PRX-centrales het begrip 'Beheer Op Afstand' ontstaan; als afkorting wordt hiervoor de term BOA gehanteerd. Het concentratiepunt heeft de naam 'Exploitatie- en en Onderhoudscentrum' gekregen, afgekort als EOC. Een studie heeft uitgewezen dat een telefoondienst kan functioneren met één concentratiepunt voor het gehele district. In zijn eenvoudigste vorm bestaat het EOC uit een ruimte waarin per aangesloten centrale één verreschrijver als terminal is opgesteld. Hiermee is het dan mogelijk de voorkomende transacties op afstand te verrichten. Ook worden op deze verreschrijver de alarmberichten (foutmeldingen) afgedrukt.

De faciliteiten van het EOC kunnen worden uitgebreid door ook te voorzien in een middelsnelle data-overdracht, nodig voor het gebruik van een papierbandlezer en bandponser. Bij realisatie hiervan zal het mogelijk worden op afstand programma's in te lezen (bijv. voor foutdiagnose) en een uitvoer van massagegevens te verkrijgen (bijv. van abonneetellers). Het nut van deze faciliteiten zal d.m.v. een bedrijfsproef in het telefoondistrict Amsterdam worden onderzocht.

Het installeren in het EOC van evenveel terminals als aangesloten centrales levert een zeer ondoelmatig gebruik op van zowel de terminals als van het noodzakelijke net van datalijnen. Voor de berichtenstroom van het EOC zouden enkele terminals reeds voldoende zijn; het zoeken naar enigerlei vorm van reductie ligt daarom voor de hand. In het Dr. Neher-Laboratorium der PTT wordt hiervoor momenteel het zgn. PMT-100 systeem ontwikkeld (PMT = Programma bestuurd Managementsysteem voor Telecommunicatie-apparatuur). Het hart van dit systeem wordt gevormd door een processor van het type PDP 11/40 die het berichtenverkeer tussen het EOC en de PRX-centrales regelt en bewaakt, waardoor het aantal benodigde terminals sterk beperkt kan worden. Reductie in het datanet wordt verkregen door toepassing van ondercentra. Op een ondercentrum worden, met individuele verbindingen, de PRX-centrales uit de betrokken regio aangesloten. Hier bevindt zich dan een reductie-schakeltrap waardoor voor de koppeling met het PMT-hoofdcentrum volstaan kan worden met twee 4-draadscircuits.

De toepassing van een processor in het

hoofdcentrum geeft een aantal bijkomende voordelen en mogelijkheden zoals:

- meer vrijheid in het gebruik van terminals, bijv. toepassing van beeldschermen en regeldrukkers, plaatsing van terminals op administratieve afdelingen voor afhandelen van abonneetransacties, enz.
- hulpverlening bij het beheer van de databibliotheek
- automatisch oproepen van personeel van de waakdienst bij storingen buiten kantoortijd.

Volgens de planning zal een prototype van het PMT-100 systeem voorjaar 1977 in het telefoondistrict Utrecht operationeel zijn voor het nemen van bedrijfsproeven.

Gevolgen voor het personeel

De introductie van programmabestuurde telefooncentrales beïnvloedt de aard en de omvang van het werkpakket van de telefoondiensten. De personeelsleden zullen in toenemende mate met de gevolgen hiervan worden geconfronteerd. Het montage- en onderhoudspersoneel van de centrales is hierbij het sterkst betrokken. Het nieuwe type centrale vergt, in combinatie met het beheer op afstand, voor instandhouding en beheer minder personeel dan de bestaande systemen. Een betrekkelijk kleine groep deskundigen is in staat een aanzienlijk telefoonbestand te 'runnen'. Het zittende personeel ervaart deze ontwikkeling als een negatieve factor voor hun loopbaanmogelijkheden. Dit klemt te meer daar de loopbaanverwachtingen van het telefooncentralepersoneel onder invloed van andere factoren toch reeds een teruggang te zien geven. Een ander negatief aspect in de beleving wordt ervaren door de jongere mensen die in de conventionele centrales werkzaam blijven. Zij moeten hun energie blijven besteden aan het instandhouden van in hun ogen ouderwetse apparatuur, met daarbij slechts een geringe kans om een begeerde functie te verwerven in de werkvelden die samenhangen met de nieuwe technieken.

De constructiewijze van de PRX-apparatuurrekken en het verregaand toepassen van gestekerde bekabeling tussen de rekken onderling, maakt de installatie van een PRX-centrale betrekkelijk eenvoudig, terwijl ook de totale bouwtijd korter is dan van een elektro-mechanische centrale. Voor het montage personeel van de PTT betekent dit een verschraling van het werkpakket.

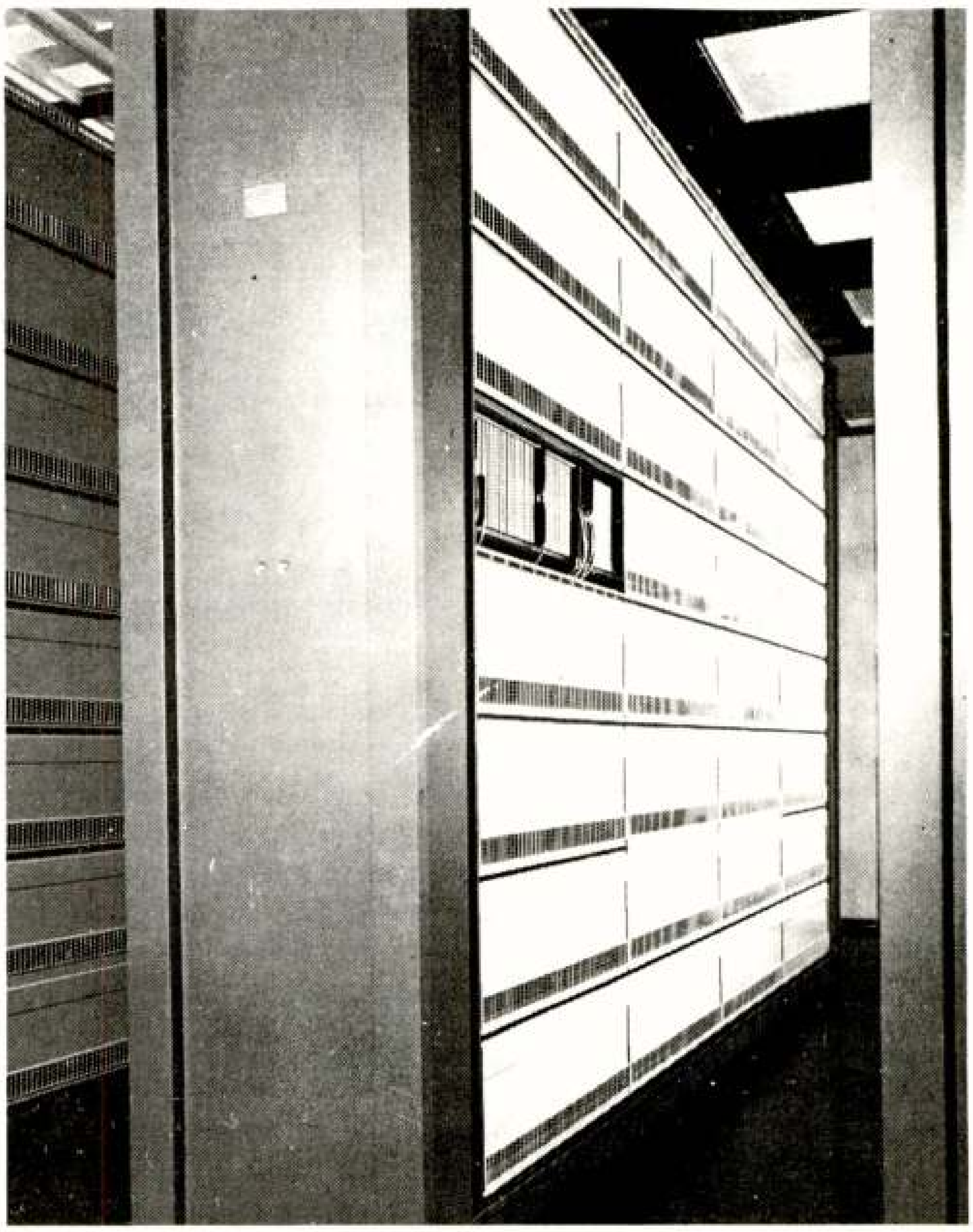
Een en ander houdt in dat de plannen die betrekking hebben op de invoering van de programmabestuurde centrales in de telefoondienst moeten worden onderzocht op hun sociale gevolgen en voor zover nodig moeten worden bijgestuurd om tot voor het personeel aanvaardbare consequenties te kunnen komen.

Toekomstperspectief

Hoewel voor de exploitatie en het onderhoud al een dankbaar gebruik gemaakt gaat worden van de voordelen van de programmabesturing, ligt er toch nog een heel terrein van mogelijkheden braak. Ontginning van dit gebied zal pas een aanvang kunnen nemen als de automatisering van de administratieve processen zo ver gevorderd is dat een samenwerking met het BOA-beheerssysteem mogelijk wordt. Aan de automatisering van deze administratieve processen bij de telefoondiensten wordt reeds sinds jaren gewerkt; het project is binnen de PTT bekend onder de naam ITCIS, Integraal Telefoon Cliënten Informatie Systeem. In dit systeem zullen alle voor een telefoonaansluiting relevante gegevens in één databank worden vastgelegd. Momenteel liggen deze gegevens vast in verschillende kaartsystemen en tekeningenverzamelingen, her en der verspreid in de organisatie. Het beschikken over een databestand met een hoge mate van actualiteit, maakt het mogelijk een aantal administratieve processen te integreren en te automatiseren.

Door een koppeling van het ITCIS-systeem aan het PMT-100 systeem wordt het mogelijk het proces van aanleggen, verhuizen en opheffen van telefoonaansluitingen te versnellen en te vereenvoudigen. Het belang hiervan kan geïllustreerd worden met de volgende cijfers. Alleen al voor het telefoondistrict Utrecht, met ruim 300 000 abonnees, worden dagelijks 200 telefooninstallaties aangelegd, 100 installaties opgeheven en 200 nieuwe aansluitingen aangevraagd, waarbij een wachtlijst van 15 000 gegadigden moeten worden bewaakt.

Dit proces omvat vele stappen die grotendeels na elkaar moeten worden genomen en waarbij met de huidige werkwijze verschillende afdelingen zijn betrokken (toekennen van een vrij nummer, uitzoeken van een kabelader, vermelding in de telefoongids, werkzaamheden in de centrale, aanleg van de aansluiting, vaststellen van de telefoonnota). Als gevolg hiervan gaat er een stroom van formulieren door de organisatie hetgeen resulteert in lange doorlooptijden. Ook is deze berichtenstroom moeilijk toegankelijk waardoor het soms veel speurwerk vergt om inlichtingen te kunnen verschaffen over de stand van zaken van een aangevraagde telefoonaansluiting.



De programmabestuurde centrales zijn zodanig ontworpen dat verdere automatisering in de toekomst (zoals Beheer Op Afstand: BOA) mogelijk wordt. In het Dr. Neher-laboratorium worden momenteel al proeven in die richting genomen

Als toekomstbeeld is de volgende handelwijze denkbaar. Een aspirant-abonnee wendt zich tot de telefoondienst voor het verkrijgen van een aansluiting. Met zijn huisadres als ingangsgegeven wordt via een beeldschermapparaat bij de processor nagevraagd of er een telefoonnummer en een kabelader in het lokale net voor dit adres beschikbaar zijn. Zo ja, dan verschijnt op het beeldscherm het toe te kennen nummer alsmede de datum dat de aanleg van de aansluiting, gezien de werkplanning, verwe-

zenlijkt kan worden. Indien de aanvrager tot 'bestelling' besluit, worden nummer en ader toegewezen d.m.v. een opdracht aan het systeem via het beeldschermapparaat. Tevens worden de verdere gegevens van de nieuwe abonnee die betrekking hebben op de aard van de installatie (bijv. gekleurd toestel, tweede stopcontact e.d.), de vermelding in de telefoongids, de telefoonnota en de datum van aansluiting aan de processor doorgegeven.
De processor maakt nu de gegevens voor de werkbon op en zendt deze via datalijnen naar de betrokken technische dienst, die voor de hardware van de aansluiting moet zorg dragen. Is de aansluiting op de afgesproken datum gerealiseerd, dan geeft de technische dienst dit via een eigen terminal door aan de processor. De aansluiting is dan ook administratief in bedrijf, waardoor ook de informatiedienst 008 van de nieuwe aansluiting op de hoogte is.

Hoewel het hier geschetste toekomstbeeld pas op langere duur gerealiseerd zal kunnen worden, mag toch wel gesteld worden dat de invoering van de programmabestuurde telefooncentrale een logische stap is in de ontwikkeling van het telefoonnet in Nederland. Door gebruik te maken van de faciliteiten van de programmabesturing, samen met de automatisering van de administratieve processen, wordt het mogelijk ook voor de toekomst een telefoonnet te beheren dat aansluit op de gerechtvaardigde wensen van onze maatschappij m.b.t. kwaliteit en dienstverlening van het communicatiebedrijf.

Programmabestuurde telefooncentrales

Dipl.-Ing. F. J. Schramel
Philips Telecommunicatie Industrie,
Hilversum

4 Ontwikkelings- en fabricage-aspecten

De voorgaande artikelen in deze reeks zijn gepubliceerd in 'De Ingenieur' 1976 nr 25, blz 532 e.v. en nr 26, blz 549 e.v. (Red.)

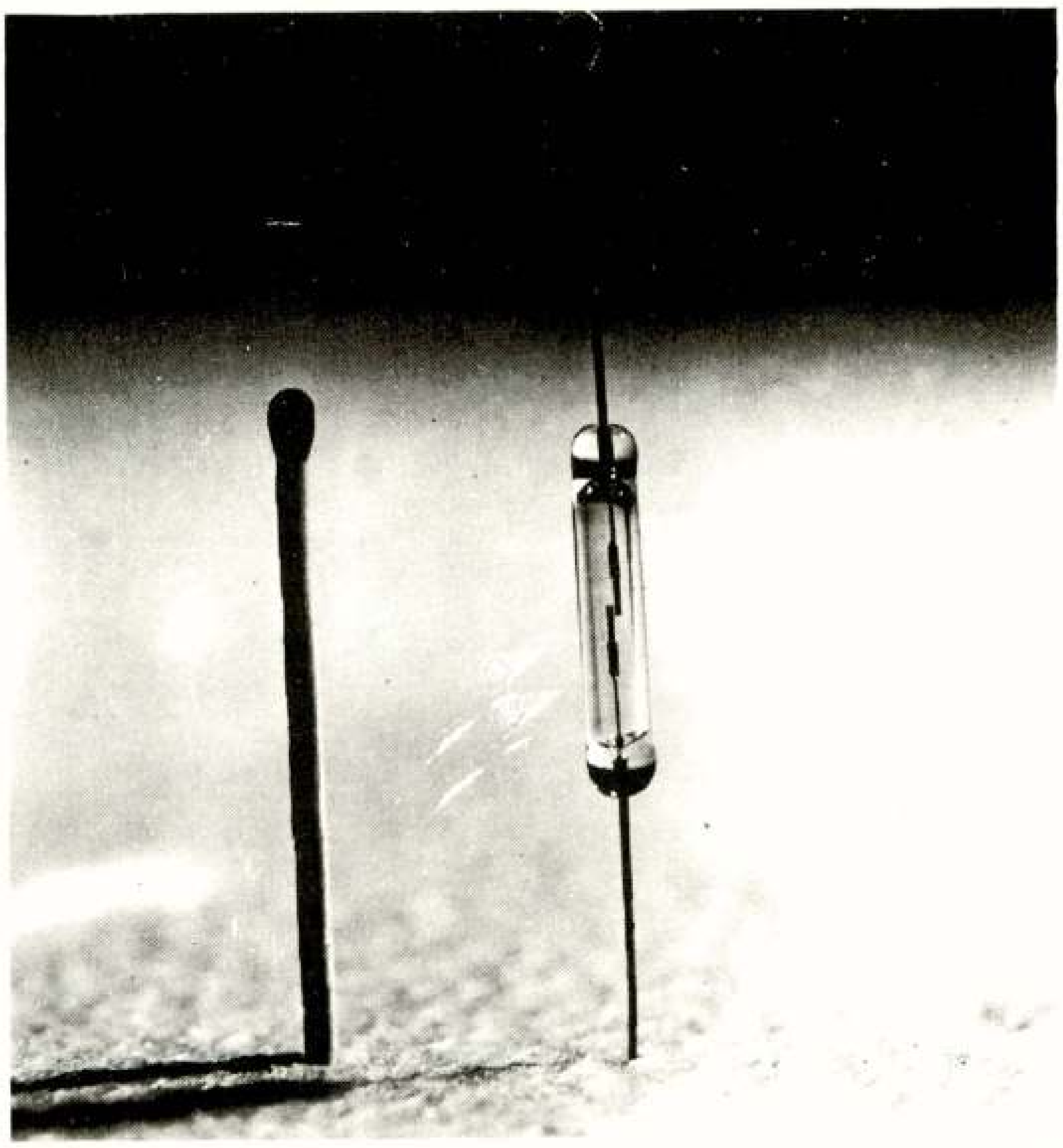
Inleiding
Een moderne programmabestuurde telefooncentrale verschilt op principiële wijze van de conventionele elektro-mechanische systemen. In de eerste plaats hebben we te maken met een andere technologie, in plaats van crossbar-schakelaars, kiezers en relais zijn er nu elektronische bouwelementen, geïntegreerde schakelingen, geheugens en zgn. 'reed-relais' op de kruispunten van de spreekwegen.
Het tweede principiële verschil is dat de intelligentie van het systeem gecentraliseerd is in een computer en niet meer, zoals bij de conventionele centrales, gedecentraliseerd in de apparaten. Bij de conventionele systemen stonden de bouwstenen, vaak zeer intelligent en zeer gecompliceerd, centraal. Daarvan uitgaande ontstond het systeem. Bij de nieuwe generatie van systemen staat de architectuur voorop; eerst wordt bepaald hoe het systeem georganiseerd moet worden, hoe dit te splitsen is in functies en sub-systemen en pas daarna komt de realisatie, de keus van bouwelementen, aan de orde.
Het derde belangrijke verschil is het element software. Dit is onverbrekelijk verbonden met het gebruik van een computer als besturingselement. Zonder programma kan de computer niet werken. Dit element software speelt een belangrijke rol in het hele industriële proces, niet alleen bij het ontwerp maar ook bij de fabricage en het testen. Bovengenoemde verschillen zijn bepalend voor het industriële proces dat ten grondslag ligt aan de produktie van moderne telefooncentrales. Bij dit proces zijn de volgende hoofdelementen te onderscheiden:
- systeemconcept
- logisch ontwerp
- packaging
- fabricage-voorbereiding
- fabricage van de 'hardware'
- fabricage van de 'software'
- installatie en testen
- documentatie en training
- onderhoud en nazorg.

Het systeemconcept
In de eerste plaats is er het systeemconcept, het denkproces waarbij de doelstellingen worden bepaald, alsmede de organisatie van het systeem en hoe dit is te structureren en te splitsen in subsystemen. Het systeemconcept ontstaat meestal in een kleine groep mensen die we systeemarchitecten kunnen noemen. Ze dienen alles van de historie te weten want ze zijn gebonden aan de beslissingen die één en twee generaties van ingenieurs vóór hen genomen hebben. Die hebben en wereldwijd telefoonsysteem gecreëerd waarmee we samen moeten werken. Het is tot nu toe gelukt om dit wereldwijd telefoonsysteem zodanig aan te passen dat het aan de tegenwoordige eisen kan vol-

doen, zoals bijv. rechtstreeks kiezen naar de Verenigde Staten. Ze moeten daarnaast ook een 'feeling' hebben voor de mogelijke toekomstige ontwikkelingen om zodanige systeembeslissingen te nemen dat ook de volgende generatie van telecommunicatie-ingenieurs er mee zal kunnen werken. De nieuwe systemen zullen nl. in het jaar 2000 nog in vol bedrijf zijn.
In deze fase spelen de bouwstenen een minder belangrijke rol, maar wel moet uit het grote arsenaal van bouwstenen de juiste keuze gemaakt worden om uiteindelijk tot het gewenste produkt te komen.
Een nieuw element bij het concept van programmabestuurde telefoonsystemen is de 'trade-off' tussen hardware en software d.w.z. we moeten beslissen of bepaalde functies gerealiseerd zullen worden d.m.v. bouwstenen en bedrading of door middel van procedures in de programmatuur van de computer.

Het logische ontwerp
In deze fase moeten de blokken van het systeemconcept nader uitgewerkt worden, maar ook in dit stadium is het niet nodig de gedetailleerde eigenschappen van alle bouwelementen te kennen. Het gaat om het vervullen van de hiervoor gedefinieerde functies vanuit logisch standpunt. Dit in tegenstelling met vroeger toen de eigenschappen van de bouwelementen van tevoren in alle details vastlagen.
Wel speelt bij het logische ontwerp de technologie een belangrijke rol en vooral het anticiperen op de toekomst. Het systeemconcept werd al zodanig gestructureerd dat bepaalde subsystemen vervangen kunnen worden indien de technologische ontwikkelingen dit nodig maken. Zo moeten bijv. kerngeheugens in het systeemconcept uitwisselbaar zijn met halfgeleidergeheugens. Ook moet bij het logische ontwerp rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat halfgeleiderprocessen vervangen moeten worden.
Voor het logisch ontwerp van de software gelden analoge overwegingen; de methodes die sinds ongeveer 50 jaar voor het ontwerpen van telecommunicatiesystemen zijn toegepast, moeten ook voor de software worden gebruikt, alleen worden ze op een andere wijze gerealiseerd. Hier dient eveneens te worden uitgegaan van structuur, modulariteit en mogelijkheden van fabricage.

De 'packaging'
De derde stap in ht industriële proces is de 'packaging'. Het logische ontwerp moet gerealiseerd worden in onderdelen en nu dient bepaald te worden hoe deze onderdelen moeten worden opgeborgen en onderling verbonden. Hierbij speelt de economie van de latere fabricage een belangrijke rol. De veranderingen t.o.v. het verleden zijn groot. In elektro-mechanische centrales worden


Fig 1: het 'reed'-contact vormt het hart van het 'reed-relais', de belangrijkste bouwsteen van het spreekwegennetwerk; het bestaat uit 2 tongetjes die in een luchtdicht afgesloten glazen buisje zijn gemonteerd: met het relais wordt elektromagnetisch een maak-contact bewerkstelligd

discrete, vrij zware bouwelementen (zoals kiezers en relais) met schroeven, moeren en beugeltjes in rekken bevestigd en met grote draadbomen onderling verbonden. Elektronische centrales zijn veel kleiner maar het aantal bouwelementen dat los wordt aangeleverd is vele malen groter. Dat eist een geheel andere packagingtechniek gericht op een fabricageproces waarbij zeer grote aantallen kleine en lichte elementen moeten worden verwerkt. Automatisering is hiervoor de enige oplossing. Dit heeft geleid tot het gebruik van printplaten met meervoudige lagen sporen waarop de halfgeleider-elementen en de reed-relais worden gemonteerd. Deze printplaten worden m.b.v. dragers in rekken ondergebracht. Voor de verbindingen is het solderen vervangen door de 'wire-wrap techniek', waarbij de draad met grote kracht om een vierkante pen geslagen wordt zodat een koude las ontstaat. Deze techniek maakt een verdere automatisering mogelijk.
Maar ook in deze ontwerpfase zelf is automatisering noodzakelijk geworden. De administratieve problemen die zich voordoen bij o.a. het opstellen van stuklijsten en verbindingsschema's worden zo groot en ingewikkeld dat ze zonder 'design automation' niet meer oplosbaar zijn.

De fabricage-voorbereiding
De fabricage-voorbereiding is het ontwikkelen van het benodigde fabricageproces in de meest ruime zin en omvat niet alleen het maken, maar ook het testen en uiteindelijk afleveren van een werkbaar totaalsysteem.
De nieuwe elementen die bij de programmabestuurde centrales naar voren komen zijn natuurlijk de elektronische bouwelementen, de geïntegreerde schakelingen, het gebruik van printplaten en wrapped-wiring en de automatisering van het produktieproces en het testproces.
Wat dat betekent kan kort toegelicht worden aan de hand van een enkel voorbeeld, het veelvuldig toegepaste reed-relais (fig 1). Het bestaat uit slechts drie componenten, 2 stukjes staal en een glazen buisje (eenvoud is het kenmerk van het ware!) maar het fabricageproces heeft 141 stappen. Sommige stappen zijn heel eenvoudig zoals het pletten van de tongetjes, andere daarentegen heel gecompliceerd en moeilijk te beheersen zoals diffusie, chemische processen, ultrasonoor reinigen, dichtsmelten, enz. (fig 2). Al deze processen moesten worden ontwikkeld waarbij zowel fijnmechanica als elektronica, chemie en fysica te pas komt.
De fabricage-voorbereiding is een typisch multidisciplinaire opgave, waarbij veel specialistische kennis nodig is, maar waarbij het doel alleen in teamverband kan worden bereikt en iedere medewerker een zekere feeling moet hebben voor wat zijn collega's presteren. Daarbij zijn zeer uiteenlopende elementen betrokken zoals:

- fysica
- kunststoffen
- computers
- programmering.

De fabricage
Vergelijken we de fabricage van nu met die van vroeger dan zien we een volledige omschakeling naar een fundamenteel ander proces. Vroeger zagen we in de fabriek veel mensen, vaak dicht op elkaar, ieder met een zeer beperkte taak; nu is het produktieproces voor een belangrijk deel geautomatiseerd waardoor niet alleen veel minder personeel nodig is maar ook de aard van het werk sterk is veranderd. Dat heeft belangrijke gevolgen voor het personeel: oude vakkennis verliest zijn waarde hetgeen veel menselijke problemen veroorzaakt die om een oplossing vragen. Een dergelijke omschakeling van het ene fabricageproces naar het andere is een enorme industriële opgave, vergelijkbaar met de problemen die de gebruikers, zoals de PTT, bij de invoering van de nieuwe systemen ondervinden.
Een geheel nieuw element in het fabricageproces is de produktie van software. Ook dit is niet eenvoudig want software voor een telefooncentrale moet 30 jaar kunnen worden gebruikt, moet zijn uit te breiden omdat centrales worden uitgebouwd of omdat er functies bij komen. Ook zijn er geen twee centrales in de wereld geheel identiek; misschien zijn de functies gelijk en hebben ze hetzelfde signaleringssysteem, maar de omgeving (aantal trunks, het nummerschema) is beslist niet gelijk. Het is daarom noodzakelijk een geautomatiseerde fabricage te hebben waarin deze software wordt gegenereerd. Uitgaande van de beschrijving van de centrale, afkomstig van de PTT of van een projectgroep, ontstaat dan in een automatisch proces als eindprodukt een low-tape en de documentatie die bij deze specifieke centrale hoort.

Een apart probleem vormt het testen van de software. Nadat alle software-modules afzonderlijk zijn getest (fig 3), moet de onderlinge samenwerking worden beproefd en moet worden nagegaan of het systeem op de juiste wijze reageert op de nogal grillige abonnee-gedragingen. Dat wordt gedaan door een real-time simulatie tussen 2 systemen. Daarbij wordt kunstmatig verkeer gegenereerd en gelijktijdig bit voor bit vastgelegd hoe de hardware functioneert. Door een kwaliteitsanalyse van deze gegevens is na te gaan of hardware en software goed samenwerken en of alle stimuli de juiste response veroorzaken.

Samenvatting
Zoals uit het voorgaande blijkt is de overgang naar programmabestuurde telefooncentrales ook voor de betreffende industrie een ingrijpend proces dat aan de ontwikkeling en de fabricage geheel nieuwe eisen stelt. De grotere omvang en gecompliceerdheid van deze systemen t.o.v. de conventionele en de introductie van software naast hardware maakt in het algemeen een hoger opleidingsniveau van het personeel noodzakelijk. De ervaring leert dat de huidige opleidingen aan onze technische onderwijsinstellingen nog onvoldoende afgestemd zijn op deze nieuwe inzichten en behoeften. De nieuwe systemen eisen grote ontwikkelingsuitgaven en grote investeringen in produktie- en testmiddelen. Er is een vermindering in direct personeel voor fabricage en testen; het 'intelligentie'-deel in het industrieel traject wordt gecompliceerder, de uitvoering eenvoudiger. Ook is er een verkorting van de installatie door een verschuiving van werkzaamheden naar de fabricage.

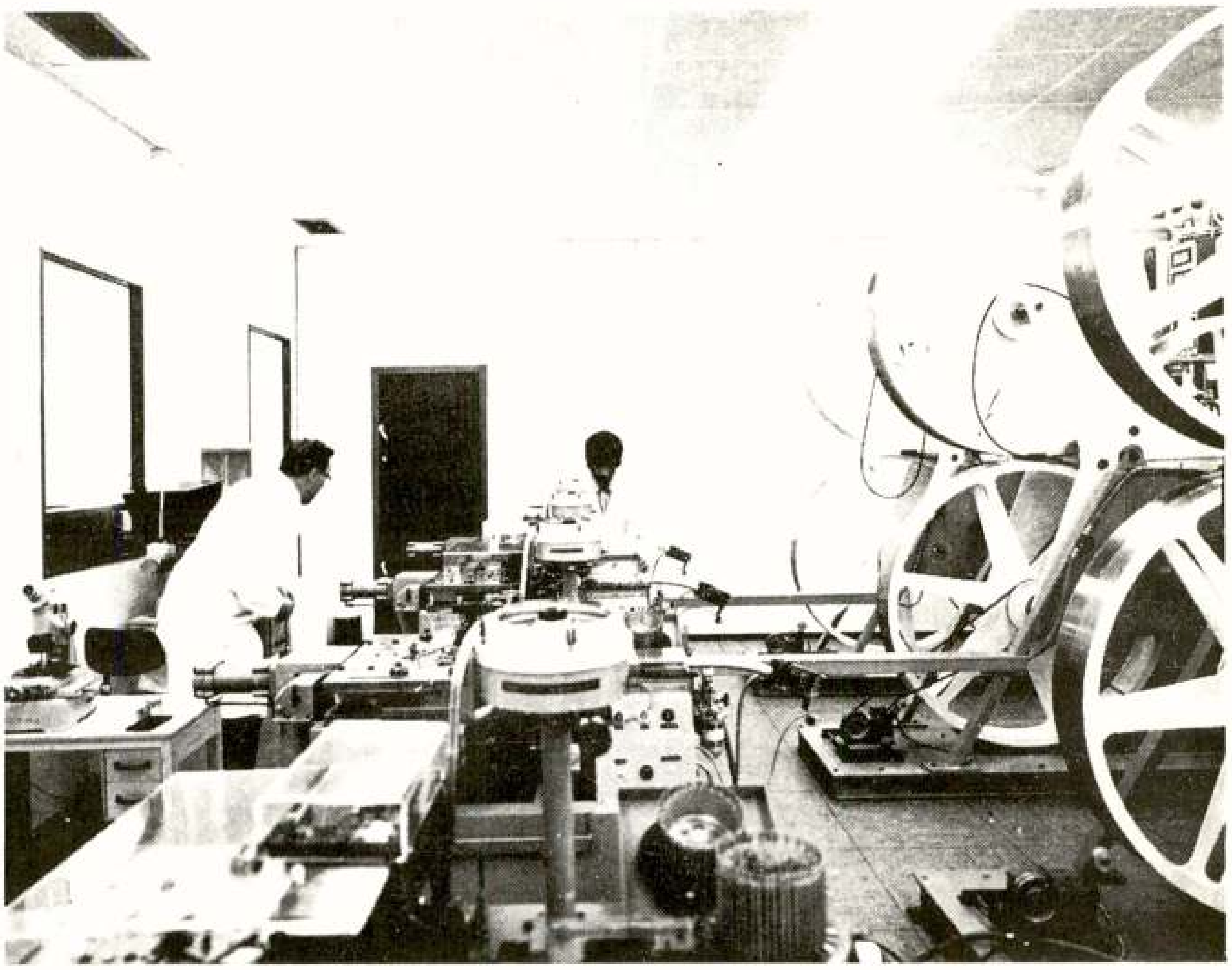


Fig 2: een fase uit het fabricageproces van reed-relais: het strekken en pletten van de contacten

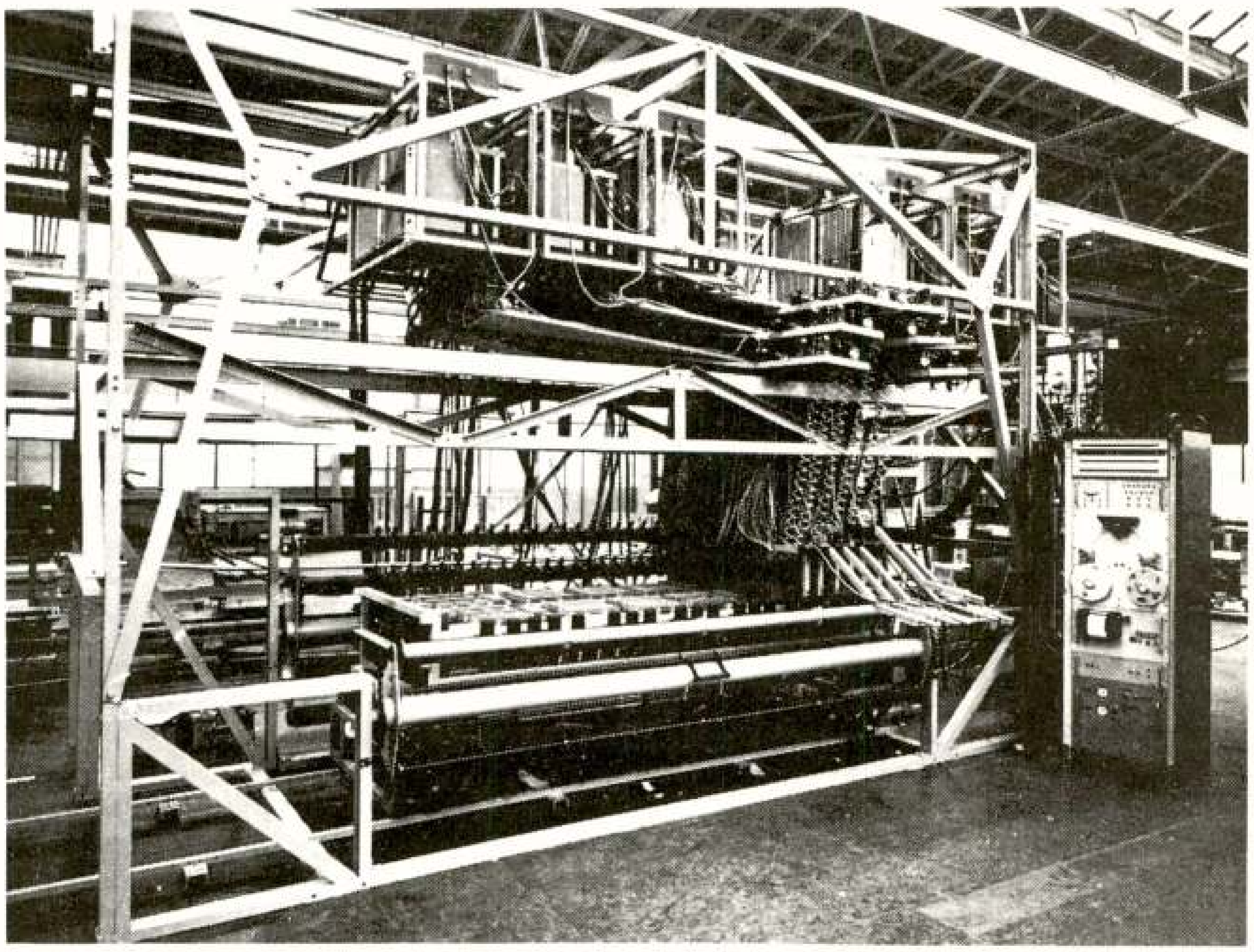


Fig 3: een processorbestuurde meetopstelling voor het testen van complete rekken t.a.v. het juist functioneren van het systeem

VARIA

Boekennieuws.

Onderwerpen uit de vermogenselektronica
door ir. J. Lisser e.a.
uitgave: Stam Technische Boeken B.V.

In ruim 200 pagina's verdeeld over 11 hoofdstukken stellen 9 auteurs een aantal onderwerpen uit de Vermogenselektronica aan de orde.
Deze onderwerpen kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

* Eigenschappen van thyristoren, waarbij de fysische achtergronden niet worden behandeld.
* Een beknopt overzicht van methoden van vermogensregeling met behulp van thyristoren.
* De kortsluitvastheid van vermogensdioden en thyristoren als deze worden toegepast in een driefasenbrugschakeling.
* Voor thyristor-gelijkrichters ontwikkelde ontsteekschakelingen waarin gebruik wordt gemaakt van een bepaald type oscillator.
* Een uitvoerige behandeling van netverontreiniging door thyristorschakelingen.
* Een algemene beschouwing over regelmogelijkheden met thyristoren bij synchrone en asynchrone motoren en bij gelijkstroommachines.
* Het instellen van een PI-regelaar voor de via thyristoren geregelde ankerstroom van een gelijkstroommachine.
* Een uitvoerige behandeling over toepassingen van choppers in schakelingen voor gelijkstroomseriemachines in tractiebedrijf.
* Een overzicht van mogelijkheden om magneetschakelaars te vervangen door thyristorschakelaars.
* Enkele aspecten van invertoren.
* Een beschouwing over enkele ontwikkelingen die kunnen worden verwacht in de vermogenselektronica.

Deze onderwerpen zijn voor het merendeel in bijna dezelfde vorm reeds eerder gepubliceerd als artikelen in het tijdschrift Holectechniek. Het is een goed idee geweest deze publikaties tot een boek te bundelen, waardoor deze nuttige artikelen beter toegankelijk zijn gemaakt.
Natuurlijk vraagt deze omzetting van een tijdschriftartikel in een hoofdstuk van een boek enige aanpassing.
Bij deze ook in het voorwoord genoemde bewerking van de artikelen is helaas het homogeniseren niet volledig uitgevoerd. Bijvoorbeeld is de benaming van de onderscheiden typen omzetters in verschillende hoofdstukken zeer uiteenlopend (chopper = puls-stuurschakeling; wisselrichter = inverter). Ook treft men een literatuurverwijzing aan waar een verwijzing naar een ander hoofdstuk van het boek hetzelfde resultaat oplevert.
Bij de keuze van de onderwerpen uit de vermogenselektronica zijn vooral die gebieden en aspecten van de vermogenselektronica naar voren gekomen die reeds enige tijd professionele uitvoeringsvormen kennen. Deze worden met veel kennis van zaken aan de lezer gepresenteerd. Voor de lezer die reeds over een zekere kennis van de grondbeginselen van de vermogenselektronica beschikt biedt dit boek een goede mogelijkheid deze basiskennis ten aanzien van een aantal onderwerpen uit te bouwen. De, soms zeer uitgebreide, literatuurlijsten die na bijna ieder hoofdstuk volgen, geven de weg aan naar nog meer bouwstenen voor deze uitbouw.
Uitgeverij Stam Technische Boeken B.V. heeft de stof goed verzorgd in een handzaam boek ondergebracht.

Eindhoven, december 1976

Ir. P. van Oosterhoudt, ir. W.J. de Zeeuw.

UIT HET NERG

40 jaar NERG examens

De statuten van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap vermelden in artikel 3, onder het hoofd "Middelen" onder meer: "Het bevorderen van het onderwijs op het gebied van de elektronica door het instellen van diploma's op onderscheidene niveaus, het openstellen van de gelegenheid tot het afleggen van examens teneinde deze diploma's te doen verwerven en voorts al hetgeen tot het bevorderen van dit onderwijs dienstig wordt geacht".
Van de hieruit voortgekomen examenactiviteit geeft het NERG in april a.s. voor het veertigste jaar blijk: in april/mei 1937 werd voor de eerste maal een NERG-examen georganiseerd. Sindsdien hebben naar schatting enkele tienduizenden kandidaten een poging gedaan om een begeerd diploma te bemachtigen..Een diploma, waaraan maatschappelijk een grote waarde wordt toegekend.
De examenactiviteiten van het NERG komen, zeer in het kort, neer op het tweemaal per jaar organiseren van examens op twee niveaus: Elektronicamonteur en Middelbaar Elektronica-technicus. De organisatie omvat achtereenvolgens a) het samenstellen en redigeren van examenopgaven; b) het houden van het examen in drie zittingen, te weten schriftelijk, mondeling en praktisch. Deze aktiviteiten kunnen worden ontwikkeld dankzij de welwillende medewerking van enkele tientallen medewerkers, NERG-leden zowel als niet-leden, die optreden als samensteller van opgaven, korrektor van schriftelijk examenwerk en als examinator bij het mondeling examen.

Wellicht zijn er enige leden die nog niet van dit facet van onze vereniging op de hoogte zijn. Daarom dit keer als bijlage bij het NERG-tijdschrift een overdruk van de uitgewerkte schriftelijke examenopgaven zoals die in "Radio-Elektronica" worden gepubliceerd. De examencommissie stelt uw op- of aanmerkingen op hoge prijs, maar meer nog zal zij het waarderen indien u zich aanmeldt als examinator, samensteller van opgaven of korrektor van examenwerk.

de examencommissie

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. T. Feitscher, 1ste Passeerderdwarsstraat 26,
Amsterdam.
Dr. H. Hasper, Hoofdweg 53, Eelde.
Prof.ir. O.W. Memelink, Vanekerstraat 275, Enschede.
Ir. L.J. Tummers, Eversveld 11, Geldrop.

Nieuwe leden

Ir. J. Biemond, Julianalaan 25, De Kaag.
Ing. J. Doeven, Bagijnenwaard 252, Zoetermeer.
Ir. A.A. Dogterom, Nieuwlandseweg 8, Hilversum.
Ing. H.J.A. Hendriks, Duivestein 9, Pijnacker.

Nieuwe adressen van leden

Ir. D. Beekman, Populierenstraat 13, Fijnaart.
Ir. N.C. Besseling, A.G. Visserstraat 3, Sasolburg 9570,
Zuid-Afrika.
Ir. R.F.M. de Charro, Nachtegaallaan 84, Bleiswijk.
Ir. C. Dorsman, Willem Klooslaan 43, Eindhoven.
Ir. J.J.M. van Gorp, Waterige weg 62, Zeist.
Ir. R.A. Kasper, Koggewal 5, Leiden.
Ir. F. van der Meer, Achterdijk 72, Werkhoven,
gem. Bunnik.
Ir. K.H.J. Robers, Bosstraat 94, Valkenswaard.
Ir. F.C. de Ronde, Résidence Le Boecien,
4 bis Rue de Paris,
94470 Boissy Saint Léger, France.
Ir. J.R. Westerveld, p/a Ministerie van Buitenlandse
Zaken, Casuariestraat 16,
Den-Haag.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 42 - nr. 1/2 - 1977

druk: Het Zuiden Eindhoven